

29. NOV. 1994

2945-1

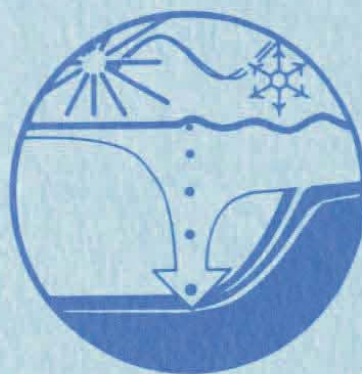
66b

BERICHTE

aus dem

SONDERFORSCHUNGSBEREICH 313

VERÄNDERUNGEN DER UMWELT - DER NÖRDLICHE NORDATLANTIK



Nr. 48

Untersuchungen zur Verbreitung, zur Biomasse und zum Grazing des Mikrozooplanktons in polaren Gewässern

SVEN REITMEIER

Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel	Nr. 48	S. 1 - 114	1.8.94
----------------------------------------------	--------	------------	--------

Nr. 48

**Untersuchungen zur Verbreitung, zur Biomasse
und zum Grazing des Mikrozooplanktons in polaren Gewässern**

Sven Reitmeier



INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG.....	1
2.	BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHUNGSGEBIETE....	3
2.1	Hydrographie des Europäischen Nordmeeres.....	3
2.2	Hydrographie des Südpolarmeeres.....	5
3.	MATERIAL UND METHODEN.....	9
3.1	Physikalische Parameter.....	10
3.2	Nährstoffe.....	10
3.3	Bestimmung des partikulären organischen Materials (POM).....	10
3.4	Primärproduktion.....	11
3.5	Chlorophyll <i>a</i> -Analysen.....	11
3.6	Zellzählungen.....	12
3.6.1	Abundanz- und Biomassebestimmung des Mikroplanktons.....	12
3.6.2	Epifluoreszenz-Mikroskopie.....	13
3.6.3	Durchfluß-Zytometrie.....	13
3.7	Experimente zur Ermittlung des Freßdrucks von natürlichen Mikrozooplankton-Populationen.....	14
3.7.1	Prinzip der Verdünnungsmethode und theoretischer Hintergrund.....	14
3.7.2	Versuchsdurchführung.....	17
4.	ERGEBNISSE.....	20
4.1	Untersuchungen im Europäischen Nordmeer während der METEOR-Expedition M17/1.....	20
4.1.1	Hydrographie.....	20
4.1.2	Nährstoffe.....	22
4.1.3	Biomasseparameter und Primärproduktion.....	24
4.1.4	Abundanz- und Biomasseverteilung und taxonomische Zusammensetzung des Mikrozooplanktons.....	27
4.1.5	Freßexperimente mit natürlichen Mikrozooplankton-Populationen.....	31
4.2	Untersuchungen im Südpolarmeer während der POLARSTERN-Expedition ANT X/6.....	34
4.2.1	Hydrographie.....	34
4.2.2	Nährstoffe.....	36
4.2.3	Biomasseparameter und Primärproduktion.....	39
4.2.4	Abundanz- und Biomasseverteilung und taxonomische Zusammensetzung des Mikrozooplanktons.....	48

4.2.5	Freßexperimente mit natürlichen Mikrozooplankton-Populationen.....	57
4.2.5.1	Epifluoreszenz-mikroskopische Auswertung der Freßexperimente.....	62
4.2.5.2	Durchfluß-zytometrische Auswertung der Freßexperimente.....	66
5.	DISKUSSION.....	69
5.1	Die taxonomische Zusammensetzung und die Verbreitung des Mikrozooplanktons.....	69
5.2	Die Freßaktivität des Mikrozooplanktons in polaren und subpolaren, ozeanischen Regionen.....	73
5.2.1	Kritische Betrachtung der Serial-Dilution-Methode: Vorteile, Grenzen und Möglichkeiten.....	74
5.2.2	Der Grazing-Einfluß des Mikrozooplanktons auf den Phytoplankton- Bestand im Europäischen Nordmeer und im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres.....	85
5.3	Nahrungsauswahl und spezifisches Freßverhalten des Mikrozooplanktons im Südpolarmeer.....	91
5.4	Die Bedeutung des Mikrozooplanktons als Konsumenten und als Beuteorganismen in polaren pelagischen Nahrungsnetzen.....	95
6.	ZUSAMMENFASSUNG.....	100
7.	LITERATURVERZEICHNIS.....	102
8.	ANHANG	

1. EINLEITUNG

Die ersten Untersuchungen über die Mikrozooplankton- bzw. Protozoen-Bestände in den polaren Regionen der nördlichen Hemisphäre liegen bereits aus den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts vor. Die Untersuchungen von MEUNIER (1910) über das Protozooplankton der Barents- und der Karasee erbrachten eine Reihe von Erstbeschreibungen planktischer Ciliaten in arktischen Gewässern. In der Folgezeit beschäftigten sich die meisten Untersuchungen vornehmlich mit der Bestandserfassung und -beschreibung des Mikrozooplanktons bzw. einzelner taxonomischer Gruppen innerhalb dieser Plankton-Größenfraktion (z.B. TIBBS 1967, TANIGUCHI 1984, BOLMS 1986, PARANJAPÉ 1987, 1988, AUF DEM VENNE 1990, ANTIA *et al.* 1993).

In den frühen Plankton-Untersuchungen im Südpolarmeer fand das Mikro- bzw. Protozooplankton zunächst kaum Berücksichtigung (HART 1934, 1942, HENTSCHEL 1932). Zu dieser Zeit wurde das Südpolarmeer aufgrund seiner hohen Krill-, Robben- und Wal-Bestände als biologisch hochproduktive Region eingestuft. Aus den Untersuchungen der Plankton-Bestände, die üblicherweise mit Netzen durchgeführt wurden, gingen die Diatomeen als wichtigste Primärproduzenten des Südpolarmeeres hervor. Aus diesen Erkenntnissen entwickelte sich das klassische Konzept der kurzen, und daher effektiven Antarktischen Nahrungskette, die von den Diatomeen als Grundlage über den Krill zu den Robben und Walen führt.

In den letzten Jahren wuchsen die Erkenntnisse über die Bedeutung der Autotrophen $< 20 \mu\text{m}$ (Pico- und Nanophytoplankton, SIEBURTH *et al.* 1978), die in den meisten Seegebieten die Phytoplankton-Biomasse und -Produktion dominieren (MALONE 1971, 1980b, PLATT *et al.* 1983, MURPHY und HAUGEN 1984). Durch neuere Untersuchungen in beiden Polarregionen konnte die Bedeutung des autotrophen Pico- und Nanoplanktons auch für diese Seegebiete nachgewiesen werden (BRÖCKEL 1981, WEBER und EL-SAYED 1988, GRADINGER 1990, HEWES *et al.* 1990). Mit der Einführung des Konzepts des "Microbial Loop" (AZAM *et al.* 1983) bzw. des "Microbial Food Web" (SHERR und SHERR 1988) und den zunehmenden Erkenntnissen, daß die meisten Metazooplankter nicht in der Lage sind, das Pico- und Nanophytoplankton aufgrund seiner Größe als Nahrung effektiv zu nutzen (NIVAL und NIVAL 1976), wurde erkannt, daß das Mikrozooplankton die potentiell wichtigste Konsumenten-Gruppe des autotrophen Pico- und Nanoplanktons darstellt. Darüber hinaus ergaben andere Untersuchungen, daß das Mikrozooplankton für viele Metazooplankton-Taxa als wichtige Nahrungsquelle dient (z.B. SHERR *et al.* 1986, STOECKER und EGLOFF 1987, zusammengefaßt in STOECKER und CAPUZZO 1990). Damit fungiert das Mikrozooplankton, mit den Ciliaten als dominantes Taxon in dieser Zooplankton-Größenfraktion, als ein wichtiges Bindeglied für den Stoff- und Energietransfer zwischen dem

"Microbial Loop" und den höheren trophischen Ebenen des pelagischen Nahrungsnetzes (SHERR *et al.* 1986).

Zur Beantwortung der Frage welchen quantitativen Beitrag das Mikrozooplankton am Stoff- und Energietransfer zu den höheren trophischen Ebenen leistet, muß zunächst untersucht werden, in welchem Umfang das Mikrozooplankton in der Lage ist, die autotrophe Biomasse, und besonders die des Pico- und Nanoplanktons als Nahrung zu nutzen. Mit der Einführung der "Serial-Dilution-Methode" (LANDRY und HASSETT 1982) wurde ein wichtiger Beitrag zur Beantwortung dieser Frage geleistet. Mit dieser Methode ist es möglich, die Grazingaktivität natürlicher Mikrozooplankton-Populationen unter quasi *in-situ* Bedingungen zu bestimmen.

Bei Untersuchungen im Bereich des Ost-Grönland-Stromes konnte nachgewiesen werden, daß zwischen 10% und 39% des Phytoplankton-Bestandes (Chl.*a*) dieser Region pro Tag durch das Mikrozooplankton-Grazing aufgenommen wurde, wobei ca. 50% bis 95% des Phytoplankton-Bestandes von Autotrophen < 20 µm gestellt wurde. Gleichzeitig wurden etwa 18% des Mikrozooplankton-Bestandes durch das Grazing des Metazooplanktons aufgenommen (ANTIA 1991). Für die Südpolarregionen fehlen derartige Untersuchungen bisher, wenngleich HEWES *et al.* (1985) bereits zu bedenken geben, daß der Phytoplankton-Bestand und die Primärproduktion, die dem Krill als Nahrung zugänglich sind, als nicht ausreichend angesehen werden, allein dessen Bestandszuwächse zu gewährleisten. Die Autoren halten das Mikrozooplankton für eine potentielle, zusätzliche Nahrungsquelle für den Krill.

Mit der vorliegenden Arbeit sollen Erkenntnisse sowohl über die Verbreitung und Biomasse des Mikrozooplanktons als auch über die quantitative Nutzung der autotrophen Biomasse durch das Mikrozooplankton-Grazing im östlichen Bereich des Europäischen Nordmeeres (Bären-Insel-Hang) und im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres erzielt werden. Bei den Untersuchungen zum Grazingdruck des Mikrozooplanktons auf das Phytoplankton im Südpolarmeer, wird durch den Einsatz verfeinerter Auswerteverfahren (Durchfluß-Zytometrie und Epifluoreszenz-Mikroskopie) versucht, zusätzliche Erkenntnisse über Nahrungsselektivität und -präferenz des Mikrozooplanktons zu erhalten. Die Untersuchungen sollen dazu beitragen, auch für die polaren Regionen zu verdeutlichen, welche Bedeutung dem Mikrozooplankton als wichtiges Bindeglied für den Stoff- und Energietransfer zwischen dem "Microbial Loop" und den höheren trophischen Stufen des pelagischen Nahrungsnetzes zugeschrieben werden kann.

2. BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHUNGSGEBIETE

2.1 Hydrographie des Europäischen Nordmeeres

Als Europäisches Nordmeer wird die Meeresregion zwischen Grönland und Norwegen bezeichnet. Es umfaßt die Seegebiete der Grönland See, der Island See und der Norwegen See und wird deshalb auch GIN-See (Grönland-Island-Norwegen-See) genannt. Die südliche Grenze zum Nordost-Atlantik wird durch den Grönland-Schottland-Rücken gebildet. Im Norden bildet die Framstraße die Begrenzung zum Arktischen Ozean, dessen intrakontinentalen Tiefseebecken (Eurasisches und Kanadisches Becken) ganzjährig eisbedeckt sind (Abb. 1).



Abb. 1: Bodentopographie des Europäischen Nordmeeres, nach BLAUME (1992). Die Lage des Arbeitsgebietes westlich der Bären-Insel wird durch den eingezeichneten Rahmen wiedergegeben. Die Stationen im Jan-Mayen-Strom und über dem Lofoten-Becken sind durch Kreise gekennzeichnet. Abkürzungen: GFZ: Greenland-Fracture Zone; JMFZ: Jan-Mayen-Fracture-Zone; GSR: Greenland-Scotland-Ridge.

Auf der Linie Spitzbergen- Bären-Insel- Nord-Norwegen grenzt das Europäische Nordmeer an die Barents-See. Östlich des zentral durch das Europäische Nordmeer verlaufenden Mittelatlantischen Rückens liegen das Norwegen- und das Lofoten-Becken, wobei westlich des Rückens die großräumige Morphologie des Europäischen Nordmeeres durch das Boreas- und das Grönland-Becken sowie durch das Island-Plateau geprägt wird (Abb. 1).

Die großräumige Zirkulation und Hydrographie des Europäischen Nordmeeres (Abb. 2) wird durch zwei meridionale Stromsysteme geprägt (AAGAARD 1970, DICKSON *et al.* 1990, SWIFT und AAGAARD 1981). Geleitet durch den norwegischen Kontinentalhang bewegt sich der **Norwegen-Strom** mit einer Tiefenausdehnung zwischen 0 und 700 m Wassertiefe nach Norden. Dieser Randstrom wird durch den Einstrom salzreicher, warmer Wassermassen des Nord-Atlantik-Stromes hauptsächlich über den im Südosten gelegenen Faröer-Schottland-Trog gespeist. Der mit diesem Einstrom einhergehende Wärmetransport bildet die Grundlage dafür, daß der östliche Teil des Europäischen Nordmeeres von den Eismassen arktischen Ursprungs weitestgehend unbeeinflusst bleibt. Auf der Höhe Nord-Norwegens teilt sich der Norwegen-Strom in den nordöstlich in die Barents-See einmündenden Nordkap-Strom und in den nordwärts gerichteten West-Spitzbergen-Strom. In Höhe der Framstraße schichten sich Anteile des West-Spitzbergen-Stromes, durch stetige Abkühlung und Vermischung weiter verdichtet, unter den nach Süden gerichteten Ost-Grönland-Strom ein (AAGAARD *et al.* 1987, QUADFASEL *et al.* 1987, RUDELS 1989). Andere Anteile strömen als subpolares Zwischenwasser nach Osten in den Arktischen Ozean ein (AAGAARD *et al.* 1987).

Mit relativ geringem Salzgehalt ($S < 34$) strömt im Nordwesten über die Framstraße das kalte ($< 0^{\circ}\text{C}$) Polarwasser des Arktischen Ozeans südwärts gerichtet in das Europäische Nordmeer ein. Dieser oberflächennahe, z.T. mit Packeis bedeckte Randstrom folgt als **Ost-Grönland-Strom** den Konturen des grönländischen Kontinentalhanges (FOLDVIK *et al.* 1988, SWIFT und AAGAARD 1981) bis er über die Dänemarkstraße in den Nordatlantik abfließt (SMETHIE *et al.* 1986, SWIFT 1984). In der Ost-Grönland See bilden sich durch die steigenden Temperaturen und den zunehmenden Schmelzwassereinfluß im Frühjahr und Sommer stabile, thermo-halin geprägte Oberflächenschichtungen aus. Bedingt durch die Bodentopographie gehen aus zwei Abzweigungen des Ost-Grönland-Stromes, nördlich der Jan-Mayen-Insel und nördlich von Island zwei zyklonale Wirbelsysteme hervor (CARMACK und AAGAARD 1973, SWIFT und AAGAARD 1981), die an ihrer Ostseite z.T. von westwärts gerichteten Abzweigern des Norwegen-Stromes ergänzt werden. Die Seegebiete, in denen sich die beiden zyklonalen Wirbelsysteme nähern bzw. an die großen meridionalen Oberflächenströmungen grenzen, sind durch hohe hydrographische Variabilität und Frontenbildung gekennzeichnet. Das Oberflächenwasser (0-150m) des Wirbelsystems über dem Grönland-Becken ist durch Vermischungsprozesse charakterisiert und wird als Arktisches Oberflächenwasser bezeichnet ($S < 34.4$, $< 0^{\circ}\text{C}$) (JOHANNESSEN 1986).

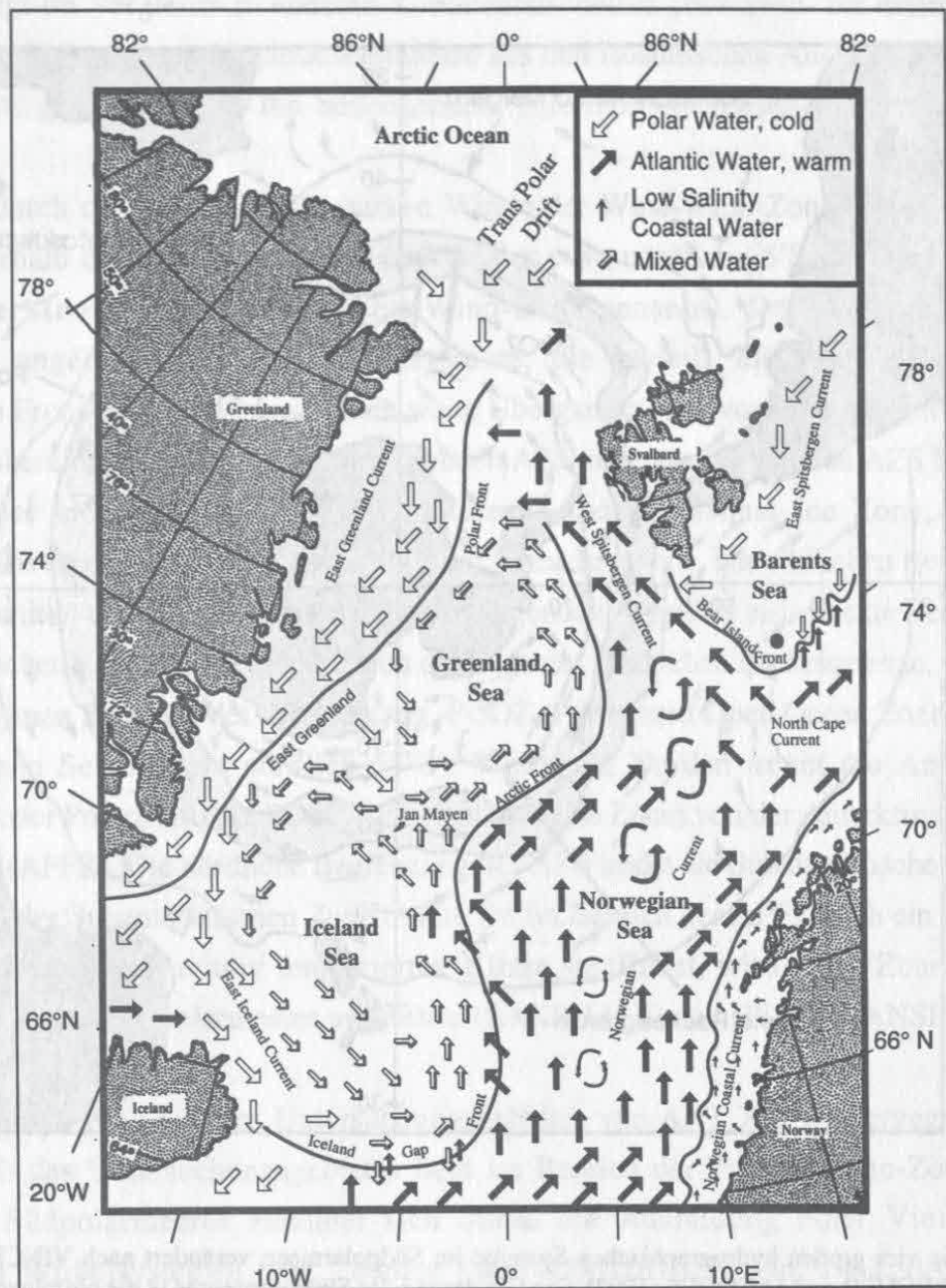


Abb.2: Oberflächen-Stromsysteme im Europäischen Nordmeer, nach BLAUME (1992).

2.2 Hydrographie des Südpolarmeeres

Als Südpolarmeer werden die ozeanischen Wassermassen bezeichnet, die den antarktischen Kontinent ringförmig umschließen und als deren nördliche Verbreitungsgrenze der Übergangsbereich der Subantarktischen Zone zur Subtropischen Konvergenzzone angesehen werden kann (Abb.3). Im wesentlichen besteht dieser Ringozean aus zwei mächtigen, vornehmlich windgetriebenen Strombändern.

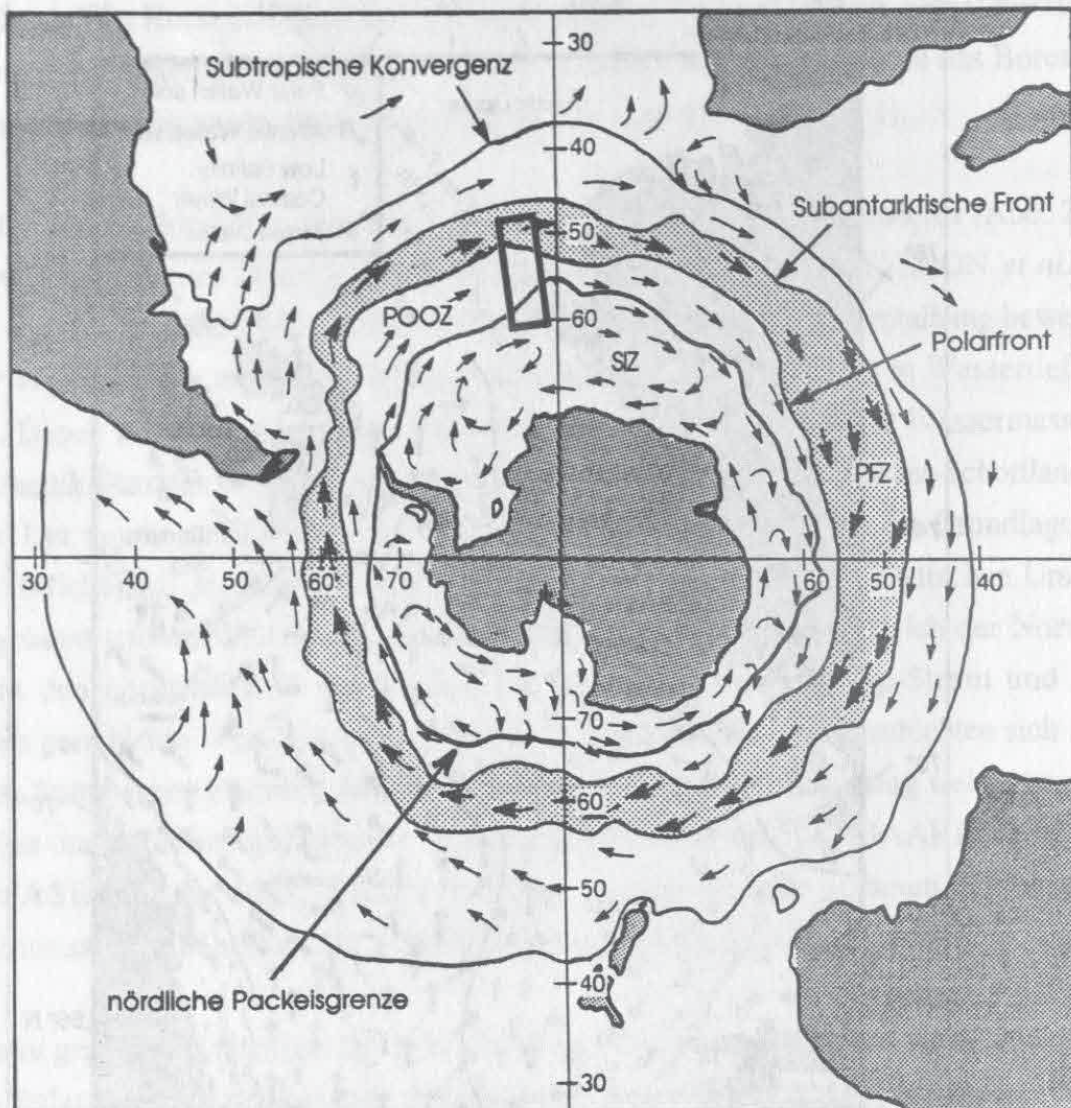


Abb. 3: Die vier großen hydrographischen Systeme im Südpolarmeer, verändert nach VINCENT (1988) und TRÉGUER und JACQUES (1992). Die Gliederung des Südpolarmeeres in die einzelnen Systeme erfolgt anhand der Lage von ozeanischen Fronten bzw. durch die Meereisverteilung. Die Lage des Untersuchungsgebietes von ANT X/6 wird durch den eingezeichneten Rahmen wiedergegeben. Abkürzungen: PFZ: Polar-Fronten-Zone; POOZ: Permanent Open Ocean Zone; SIZ: Seasonal Ice Zone.

Der **Antarktische Küstenstrom (AKS)** (auch als Ost-Wind-Drift bezeichnet) wird durch die Konturen des antarktischen Schelfs geleitet und umströmt im Süden als antizyklonales Stromsystem den antarktischen Kontinent. An einigen Stellen wird der AKS bedingt durch die Bodentopographie vom Schelf abgelöst und bildet dadurch große zyklonale Wirbelsysteme aus (z.B. Weddell-See Wirbel oder Ross-See Wirbel) (FORSTER 1984, FORSTER und CARMACK 1976). Angetrieben wird der AKS durch südöstlich vom Kontinent herabwehende Winde, ergänzt durch nordöstliche Winde, die aufgrund der starken Tiefdruckgebiete entstehen, die den Kontinent umziehen.

Der Übergangsbereich zwischen Kontinentalschelf und Schelfhang des antarktischen Kontinents liegt im Vergleich zu anderen Kontinentalschelfen etwa zwei- bis dreimal tiefer. Diese Besonderheit resultiert zumindest teilweise aus den isostatischen Ausgleichsvorgängen des Kontinents gegenüber den ihn bedeckenden, z.T. mehrere tausend Meter mächtigen Eismassen.

Angetrieben durch die kontinuierlich starken Winde der West-Wind-Zone befindet sich im Norden (außerhalb des AKS), im atlantischen Sektor etwa nördlich 65°S, der **Antarktische Zirkumpolarstrom** (AZS) (auch West-Wind-Drift genannt). Der AZS umfaßt drei konzentrisch angeordnete, starke Stromsysteme, die jeweils mit einer 1000-2000m tiefreichenden Front einhergehen und durch weite Übergangszonen voneinander getrennt sind. Im Übergangsbereich zwischen dem antizyklonalen AKS und dem zyklonalen AZS bildet sich im Bereich der meereisbedeckten Kontinentalzone (oder Seasonal Ice Zone, SIZ) die Antarktische Divergenz (auch als Kontinentalfront bezeichnet) aus. Die südlichen Bereiche des AZS liegen somit in der SIZ (sie werden in der vorliegenden Arbeit als eisbedeckte Bereiche des AZS angesprochen), während begrenzt durch die Lage der nördlichen Packeisgrenze, die weiter nördlich gelegenen Bereiche des AZS zur sog. POOZ (Permanent Open Ocean Zone) gehören (im atlantischen Sektor etwa nördlich 55°S). Weiter im Norden trennt die Antarktische Konvergenz (oder Polarfront) die POOZ (oder Antarktische Zone) von der Antarktischen Polar-Fronten-Zone (APFZ). Die nördliche Begrenzung des AZS bildet die Subantarktische Front, die die APFZ von der Subantarktischen Zone trennt. Da im Bereich der APFZ auch ein Übergang vom polaren Klima zum relativ temperierten Klima stattfindet, wird diese Zone auch als nördliche Grenze des Südpolarmeeres angesehen (SAKSHAUG und HOLM-HANSEN 1984).

In Abbildung 3 ist die Lage des Untersuchungsgebietes von ANT X/6 wiedergegeben. Der nördliche Teil des Untersuchungsgebietes liegt im Bereich der Polar-Fronten-Zone. Diese Region des Südpolarmeeres zeichnet sich durch die Ausbildung einer Vielzahl von mesoskaligen Wirbelsystemen (sog. "eddies") aus (DANIAULT *et al.* 1983, PARK *et al.* 1991). Der zentrale Teil des Untersuchungsgebietes liegt in dem Bereich des AZS, der ganzjährig ohne Eisbedeckung vorzufinden ist und deshalb auch als POOZ bezeichnet wird. Dieses Gebiet ist auch während der Wachstumsperiode im Frühjahr und Sommer, bedingt durch die permanent starken Winde der West-Wind-Drift, durch große Durchmischungstiefen der oberflächennahen Wasserschichten charakterisiert. Für dieses Seegebiet wird davon ausgegangen, daß das ungünstige Verhältnis der Kritischen Tiefe für das Phytoplankton-Wachstum und der Durchmischungstiefe dafür verantwortlich ist, daß hier nur sehr selten Chl.a-Konzentrationen $> 1 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1}$ beobachtet werden können. Der südliche Teil des Untersuchungsgebietes befindet sich in der saisonal meereisbedeckten Region (SIZ) des AZS. Dieses Gebiet unterliegt im Frühjahr und Sommer mit beginnender Eisschmelze deutlichen Änderungen der hydrographischen Struktur in der oberen Wassersäule. Während der winterlichen Eisbedeckung ist der obere Bereich der Wassersäule tief durchmischt. Zu Beginn der Wachstumsperiode bildet sich durch die steigenden Temperaturen und den zunehmenden

Schmelzwassereinfluß eine stabile Schichtung aus, die dann eine relativ warme, salzarme Oberflächenschicht (auch als Antarktisches Oberflächenwasser bezeichnet) von dem kalten, salzreicheren sog. Winterwasser trennt. In der Übergangszone der POOZ zur SIZ befindet sich im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 ein weiterer Frontbereich. In das Seegebiet zwischen der Antarktischen Zone (bzw. POOZ) und der Antarktischen Divergenz (Kontinentalfront) erstreckt sich eine ostwärtige Komponente des Weddell-See-Wirbels und bildet zusammen mit dem AZS die AZS-Weddell-Front (ca. 57° - 58° S).

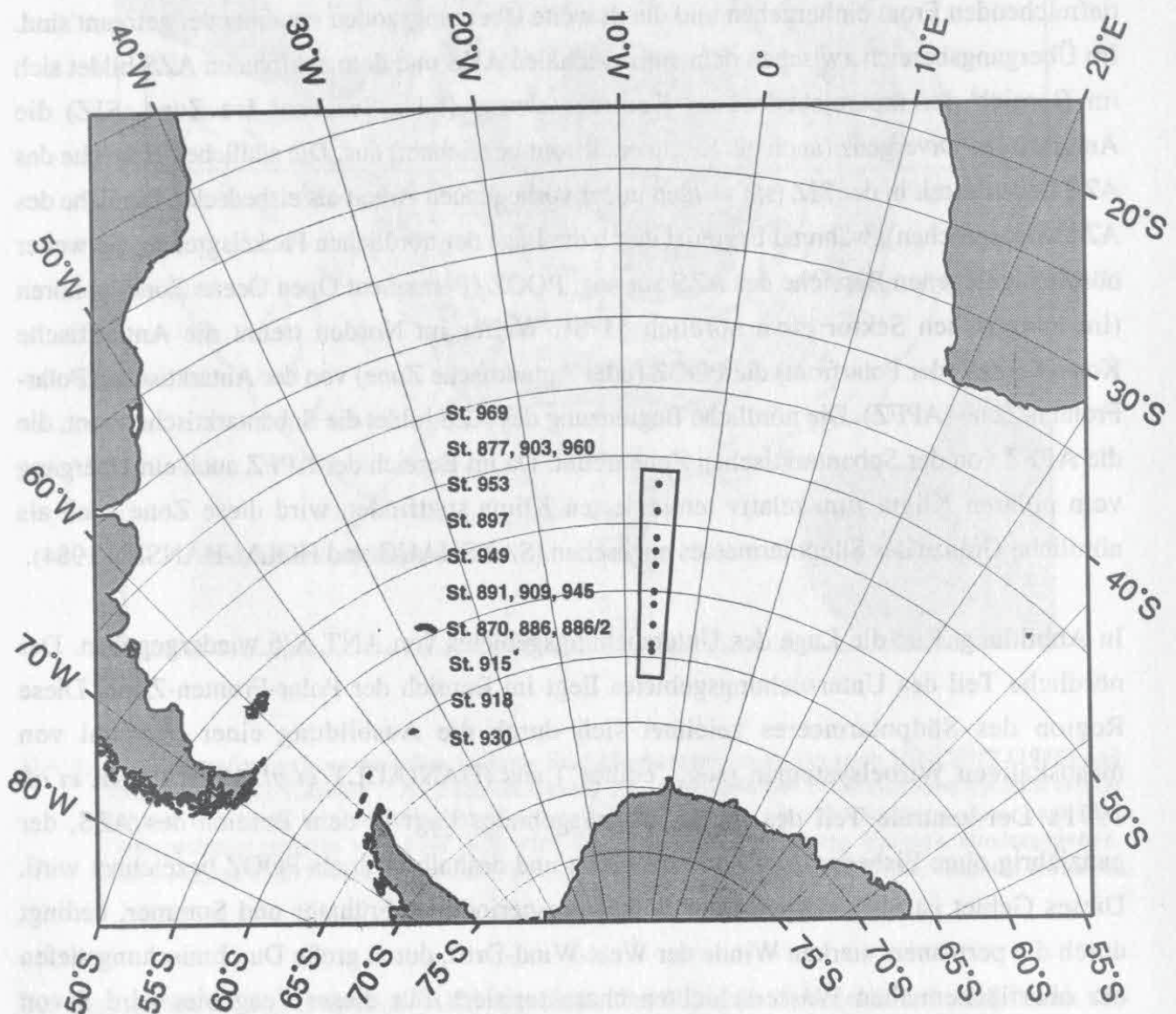


Abb. 4: Lage des Untersuchungsgebietes und der beprobten Stationen während ANT X/6. Die Untersuchungen erfolgten während mehrerer hydrographischer Schnitte entlang des 06° W Meridians zwischen 47° S und 60° S.

3. MATERIAL UND METHODEN

Die Felddaten, die dieser Arbeit zugrunde liegen wurden während zwei Expeditionen in den Jahren 1991 und 1992 erhoben: METEOR-Expedition M17/1 vom 15.07. - 08.08.1991, Hamburg - Tromsø, POLARSTERN-Expedition ANT X/6 vom 29.09. - 29.11.1992, Punta Arenas - Kapstadt. Während M17/1 konzentrierten sich die Arbeiten auf den Bereich der Bären-Insel, mit zwei zusätzlichen Stationen im Bereich des Jan-Mayen-Stromes und über dem Lofoten-Becken. Die Arbeiten während ANT X/6 wurden auf mehreren hydrographischen Schnitten im Bereich des AZS entlang des 6°W-Meridians durchgeführt.

Tab. 1: Aufstellung der beprobten Stationen und der durchgeführten Arbeiten während M17/1 und ANT X/6.

Expedition	Stations Nr.	Datum	geographische Position		durchgeführte Arbeiten
			Breite	Länge	
M17/1	375	23.07.1991	75°10.30'N	12°23.87'E	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE
	396	25.07.1991	74°58.97'N	14°50.16'E	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE
	400	26.07.1991	74°47.46'N	13°52.68'E	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE
	436	28.07.1991	75°20.82'N	13°37.21'E	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE
	444	31.07.1991	72°24.25'N	07°41.97'W	CTD, S, WS, Chl.a, Ut, SDE
	447	02.08.1991	69°55.87'N	00°12.76'E	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE
ANT X/6	870	13.10.1992	55°57.72'S	05°56.06'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE
	877	17.10.1992	49°00.20'S	06°00.20'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE
	886	22.10.1992	56°03.13'S	06°43.98'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^e
	886/2	23.10.1992	56°07.21'S	06°15.47'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^{e,c}
	891	25.10.1992	55°02.19'S	05°59.35'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^c
	897	27.10.1992	52°00.20'S	06°00.10'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^c
	903	29.10.1992	49°00.00'S	06°00.10'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^c
	909	02.11.1992	55°00.41'S	06°01.72'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^c
	915	04.11.1992	57°28.75'S	05°57.53'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE
	918	06.11.1992	59°00.40'S	05°57.60'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^e
	930	10.11.1992	59°29.99'S	05°59.59'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^{e,c}
	945	14.11.1992	55°02.00'S	05°59.34'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^c
	949	16.11.1992	53°00.10'S	05°57.82'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^{e,c}
	953	17.11.1992	51°00.34'S	05°59.19'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^c
	960	19.11.1992	48°59.70'S	05°57.62'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^{e,c}
	969	21.11.1992	47°00.68'S	06°00.65'W	CTD, S, WS, Chl.a, PP, Ut, SDE ^{e,c}

CTD = Aufnahme des Temp.-Salzgehalts-Tiefenprofils

SDE = Serial-Dilution-Experimente

WS = Wassersäulenparameter (POM, anorg. Nährstoffe)

Ut = Abundanz- u. Biomassebestimmung des autotrophen und heterotrophen Mikroplanktons

S = Ermittlung der Eindringtiefe des Lichtes mittels Secchi-Scheibe

^e = SDE mit zusätzl. epifluoreszenz-mikroskop. Auswertung des autotr. Pico- u. Nanoplanktons

^c = SDE mit zusätzl. zytometr. Analyse des autotr. Pico- u. Nanoplanktons

PP = Primärproduktionsmessung

Chl.a = Chlorophyll a-Analysen

3.1 Physikalische Parameter

Während beider Expeditionen wurde die Stationsarbeit mit der Aufnahme von Temperatur- und Salzgehaltsprofilen mit einer CTD-Sonde (ME-Multisonde, 1991; Seabird SBE 9 plus, 1992) eingeleitet. In beiden Jahren war die Sonde an dem Gestell des Kranzwasserschöpfers montiert. Die Aufnahme der Profile wurde während der ANT X/6 Expedition von Kollegen des NIOZ (Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Arbeitsgruppe um Dr. C. Veth) in Texel durchgeführt und die Daten wurden mir dankenswerterweise zur Verfügung gestellt.

Zur Ermittlung der Ausdehnung der Euphotischen Schicht ($\geq 1\%$ Lichttiefe) wurde in beiden Seegebieten die Eindringtiefe des Lichts mit einer Secchi-Scheibe (50 cm Durchmesser) ermittelt. Die Berechnung der Lichttiefen erfolgte nach PARSONS *et al.* (1984).

3.2 Nährstoffe

Aus diskreten Wasserschöpferproben (10l NOEX und NISKIN Wasserschöpfer) wurden die Konzentrationen für die Nährstoffe Nitrat (NO_3), Silikat (SiO_4), Phosphat (PO_4) und Ammonium (NH_4) nach GRASSHOFF *et al.* (1983) analysiert. Die Analysemethoden für NO_3 , SiO_4 , PO_4 waren für den Gebrauch von Autoanalyzern modifiziert worden, während NH_4 nach der Handmethode analysiert wurde (die anorg. Nährstoffe wurden während ANT X/6 von Peter Fritsche, IfM Kiel und Karel Bakker, NIOZ analysiert, Ammonium wurde von Jacques Poncin, IEM Brest gemessen; während M17/1 wurden die Nährstoff-Analysen im Zuge der Routinemessungen des Tielprojekts A4 des SFB 313 durchgeführt; in beiden Fällen sind mir die Daten freundlicherweise von den Kollegen zur Verfügung gestellt worden). Während der METEOR Expedition M17/1 orientierten sich die Probenahmetiefen an den ermittelten Lichttiefen, wobei auf der POLARSTERN Expedition ANT X/6 aus organisatorischen Gründen festgelegte Standardtiefen beprobt wurden.

3.3 Bestimmung des partikulären organischen Materials (POM)

Unter Berücksichtigung der erfahrungsgemäß anzutreffenden Konzentrationen von partikulärem organischen Material (POM) wurden Seewasserproben unterschiedlicher Volumina auf GF/F Filter (25 mm Durchmesser) filtriert und diese Filter anschließend bis zur Analyse bei -18°C eingefroren. Die Analyse wurde mit einem Hereus Rapid CHN Analyzer vorgenommen.

Für die Proben von ANT X/6 ist diese Aufgabe von Kollegen des Alfred-Wegener-Instituts, Bremerhaven (Arbeitsgruppe um Dr. U. Bathmann) übernommen worden, und die Daten wurden mir freundlicherweise zugänglich gemacht. Die Bearbeitung der POM-Proben der

M17/1 Expedition erfolgte innerhalb der Routineauswertung dieser Proben im Teilprojekt A1 des SFB 313.

3.4 Primärproduktion

Die Messung der Primärproduktion wurde während beider Expeditionen nach der 1952 von STEEMANN NIELSEN eingeführten Methode durchgeführt. Die Methode beruht auf der Aufnahme von radioaktiv markiertem Kohlenstoff (^{14}C) durch die Photosynthese der Algen. Das intrazellulär gebundene ^{14}C wird anschließend durch Flüssigkeits-Szintillations-Zählungen detektiert. Die Inkubationszeit betrug 24 h und wurde an Deck der Schiffe vorgenommen. Dabei wurden Wannen mit fließendem Seewasser versorgt, so daß annähernd *in situ* Temperaturen vorlagen. Zur Simulation des Lichtklimas unter Wasser wurden die Inkubationsgefäße entsprechend ihrer Probenahmetiefe mit Folien unterschiedlicher Lichtdichte abgedeckt. Während ANT X/6 wurde für die Berechnung der Primärproduktion berücksichtigt, daß die einfallende, für die Photosynthese der Algen nutzbare Strahlung (PAR = Photosynthetically available radiation) durch Reflexion an der Wasseroberfläche (0.15) und Schnee-Eis-Albedo (0.95) verringert wird. Die Korrektur der für die Photosynthese der Algen zur Verfügung stehenden Strahlungsmenge (I_0), ergibt sich nach:

$$I_0 = (\text{Eisbedeckung} * \text{durchschnittl. PAR} * 0.05) + ((1 - \text{Eisbedeckung}) * \text{durchschnittl. PAR} * 0.85)).$$

3.5 Chlorophyll a-Analysen

Die Proben für die Analyse von Chlorophyll a (Chl.a) wurden auf GF/F Filter (25 mm Durchmesser) filtriert und bei -18°C eingefroren. Innerhalb von max. 48 h nach dem Einfrieren wurde das Retardat mit 90 %igen Aceton extrahiert, die Filter homogenisiert und die Probe anschließend in einer Kühlzentrifuge (ca. 10 min bei 3000 u.p.m.) geklärt. Die Chl.a-Messungen aus den Wassersäulenproben und aus den Proben der Freß-Experimente (siehe 3.7) erfolgten mit einem Turner Design Fluorometer nach der Ansäuerungsmethode nach HOLM-HANSEN *et al.* (1965). Das Fluorometer wurde nach EDLER (1979) mit Chl.a-Standard (16912, Fa. Serva) gegen ein Spektralphotometer kalibriert. Die Chl.a-Konzentrationen wurden mit einem molaren Extinktionskoeffizienten für Chl.a von 87.67 (JEFFREY und HUMPHREY 1975) berechnet.

3.6 Zellzählungen

Neben der Biomasse und Abundanzbestimmung des Mikroplanktons in den beiden Untersuchungsgebieten, wurden die Auswertungen der Grazingexperimente während ANT X/6 zusätzlich zur Chl.a-Analyse anhand von Zellzählungen des autotrophen Pico- ($< 2 \mu\text{m}$) und Nanoplanktons ($2\text{-}20 \mu\text{m}$) vorgenommen. Diese Zellzählungen wurden unter Verwendung der Epifluoreszenz-Mikroskopie (siehe 3.6.2) und der Durchfluß-Zytometrie (siehe 3.6.3) vorgenommen und sollten dazu dienen, den Grazing-Druck des Mikrozooplanktons auf diese Phytoplankton-Größenklassen gesondert untersuchen zu können.

3.6.1 Abundanz und Biomassebestimmung des Mikroplanktons

Innerhalb der Mikroplanktonfraktion wurden die Abundanzen und Biomassen sowohl für die autotrophen als auch für die heterotrophen Taxa durch mikroskopische Auswertungen nach UTERMÖHL (1958) bestimmt. Die Zählung und Vermessung der Organismen wurde an einem inversen Mikroskop (Fa. Zeiss, 25 x und 40 x Phasenkontrastobjektive) durchgeführt. Dazu wurden mit Lugol'scher Lösung (Endkonzentration: 4 Vol.%) fixierte Wasserproben vorsichtig in 50-100 ml Sedimentationszylinder überführt. Über einen Zeitraum von mindestens 24 h sedimentierten die in der Probe enthaltenen Organismen in die unter dem Zylinder befindliche Zählkammer, um anschließend der mikroskopischen Auswertung zugeführt zu werden. Die Bestimmung der einzelnen Taxa erfolgte nach CORLISS (1979), FENNER *et al.* (1976), HUSTEDT (1930), KAHL (1930, 1931, 1932, 1935), LEE *et al.* (1985), LEEGARD (1915), MAEDA (1986), MAEDA und CAREY (1985), MEDLIN und PRIDDLE (1990), SCHILLER (1930, 1937). Für die Volumenbestimmung der Organismen werden die Zellformen in einfache geometrische Formen überführt und die für die Volumenberechnung dieser Formen benötigten Längeneinheiten vermessen (EDLER 1979). Die berechneten Biovolumina wurden mit taxaspezifischen Faktoren in Biomassen umgerechnet: heterotrophe Dinoflagellaten und Phytoplankton mit Ausnahme von Diatomeen $0,13 \text{ pgC } \mu\text{m}^{-3}$, Diatomeen $0,11 \text{ pgC } \mu\text{m}^{-3}$ (EDLER 1979), Ciliaten und Crustaceen-Nauplien $0,14 \text{ pgC } \mu\text{m}^{-3}$ (PUTT und STOECKER 1989). Dinoflagellaten, denen in der Literatur heterotrophe Ernährungsweise zugeschrieben wurde, sind als "heterotrophe Dinoflagellaten" dem Mikrozooplankton zugeordnet worden. Wurde autotrophe Ernährungsweise angegeben bzw. erfolgte keine gesicherte Zuweisung der Ernährungsweise, wurden die betreffenden Dinoflagellaten dem Phytoplankton zugeordnet. Aufgrund der schwierigen Zuordnung wurden alle nicht eindeutig identifizierbaren, ihrer Zellform nach gymnodinien-ähnlichen Taxa als "Gymnodinium" zusammengefaßt worden. Die durch Mikroskopie nicht eindeutig bestimmbar Organismen $< 10 \mu\text{m}$ wurden als sog. "µ-Flagellaten" zusammengefaßt.

3.6.2 Epifluoreszenz-Mikroskopie

Für die Untersuchungen des Grazing-Drucks des Mikrozooplanktons auf das autotrophe Plankton ($<20\ \mu\text{m}$) wurden während ANT X/6 epifluoreszenz-mikroskopische Zählungen durchgeführt. Zur quantitativen Erfassung der Zellzahlen des autotrophen Pico- und Nanoplanktons wurden aus den Experimenten vor und nach der Inkubation, unter Berücksichtigung der eingestellten Verdünnungen, definierte Volumina (50-150 ml) entnommen. Diese Unterproben wurden zur Abtrennung größerer Partikel über eine $20\ \mu\text{m}$ Gaze gegeben, anschließend zur Vermeidung von Hintergrundfluoreszenz auf schwarz vorgefärbte Nucleopore Filter ($0,2\ \mu\text{m}$ Porenweite) filtriert und bei -18°C eingefroren. Bei der Filtration wurden zur gleichmäßigeren Verteilung des Unterdrucks (WATERBURY *et al.* 1986) Membranen ($0,2\ \mu\text{m}$ Porenweite) unter die Filter gelegt. Die Zellen in den Probenvolumina wurden durch Proflavin (33525, Proflavin-hemisulfat, Fa. Serva) angefärbt (HAAS 1982). Bei Blauanregung bietet die Färbung mit Proflavin aufgrund der Anfärbung des Zytoplasmas den Vorteil, sowohl den autofluoreszierenden Chloroplasten als auch die komplette Zelle erkennen zu können. Enthält eine Zelle zwei oder mehrere Chloroplasten lassen sich diese genau zuordnen. Dies wäre ohne Proflavin-Färbung nicht möglich und würde daher möglicherweise zu einer Überschätzung der Abundanzen führen. Vor der Filtration und Färbung wurden die Proben mit Glutaraldehyd (Endkonzentration 5 Vol.%) fixiert. Die Auswertung der Filter erfolgte innerhalb von 2 Monaten unter einem Epifluoreszenz-Mikroskop (Fa. Zeiss, Axiovert 35) mit einem $100\times$ Plan-Neofluar-Öl-Objektiv bei Blauanregung (Filtersatz: BP 450-490, FT 510, LP 520) und einer Quecksilberbogenlampe (Fa. Osram, HBO 50 Watt) als Lichtquelle. In Abhängigkeit von der Zellkonzentration des autotrophen Pico- und Nanoplanktons wurden entweder nicht weniger als 300 Zellen gezählt ($\pm 10\%$ Fehler, VENRICK 1978), oder mindestens 40 Felder eines kalibrierten Zählgitters ausgezählt.

3.6.3 Durchfluß-Zytometrie

Eine weitere während ANT X/6 angewendete Methode zur Untersuchung des Freßdrucks des Mikrozooplanktons auf das autotrophe Pico- und Nanoplankton ist die Durchfluß-Zytometrie. Die Messungen erfolgten mit einem FLUVO II-Zytometer (konstruiert von Dr. V.KACHEL, MPI für Biochemie, Martinsried bei München, die Durchführung der Messungen wurde freundlicherweise von Andrea Detmer, IfM Kiel vorgenommen).

Das Meßprinzip der Zytometrie besteht aus der Kombination der Erfassung von Fluoreszenzeigenschaften von Partikeln und deren Zählung und Volumenbestimmung. Die Zählung und Volumenbestimmung erfolgt nach dem Coulter-Prinzip, wobei die beim Meßvorgang durch einen Partikel bewirkte Veränderung eines anliegenden elektischen Feldes detektiert wird, oder die durch einen Partikel hervorgerufene Lichtstreuung registriert wird. Bei

den Messungen während ANT X/6 konnten aus technischen Gründen keine Volumenbestimmungen durchgeführt werden.

Durch den technischen Aufbau des Gerätes werden die Partikel eines exakt bestimmbaren Probenvolumens innerhalb eines Probenstrahls so angeordnet, daß sie alle einzeln detektiert werden können (HORAN und WHEELLESS 1977). Durch eine Lichtquelle (Laser oder Quecksilberbogenlampe) und geeignete Filtersätze werden die durchlaufenden Partikel mit einer genau dosierten Energiemenge und einer bestimmten Wellenlänge angeregt. Die daraufhin von den Partikeln emittierte Fluoreszenz-Strahlung wird aufgenommen, in einem Photomultiplier verstärkt und in entsprechende elektrische Signale übersetzt (STEEN 1990). Diese werden von einem Computer aufgenommen und können mit spezieller Software ausgewertet werden.

Von den vor und nach den Inkubationen aus den Experimenten während ANT X/6 entnommenen Proben für die Epifluoreszenz-Mikroskopie, wurden ca. 5 ml für die Durchfluß-Zytometrie entnommen. Dadurch wurde sichergestellt, daß die mittels Mikroskopie und Zytometrie analysierten Proben einander weitestgehend entsprachen. Die Proben für die Zytometrie wurden soweit möglich sofort der Messung zugeführt. War dies nicht realisierbar wurden die Proben für maximal wenige Stunden im Kühlschrank gelagert.

3.7 Experimente zur Ermittlung des Freßdrucks von natürlichen Mikrozooplankton-Populationen

Die durchgeführten Experimente bieten die Möglichkeit den Freßdruck des Mikrozooplanktons auf Phytoplankton zu ermitteln. Dabei wurde die 1982 von LANDRY und HASSETT eingeführte sogenannte "Serial-Dilution-Technique" angewendet, die derzeit die einzige Methode darstellt, das Freßverhalten von Freilandpopulationen zu untersuchen.

3.7.1 Prinzip der Verdünnungsmethode und theoretischer Hintergrund

Zur Ermittlung des Freßdrucks herbivoren Mikrozooplanktons wird eine natürliche Seewasserprobe mit partikelfrei-filtriertem Seewasser gleicher Herkunft verdünnt. Dabei beruht das Prinzip der Verdünnungsmethode auf folgenden drei Grundannahmen (LANDRY und HASSETT 1982):

1. Das Wachstum (und die Wachstumsrate) der einzelnen in dem Probengefäß befindlichen Phytoplanktonzellen ist unabhängig von deren Konzentration und nicht Nährstoff limitiert.
2. Es besteht eine lineare Abhängigkeit zwischen der Ingestionsrate von Algenzellen durch das herbivore Mikrozooplankton und der "Zusammentreff-Rate" der Auto- und Heterotrophen. Die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens wird durch die Verdünnungen geringer.

3. Es wird angenommen, daß sich das Phytoplankton in einer exponentiellen Wachstumsphase befindet.

Als Biomasseparameter für das Phytoplankton in den Experimenten diene Chl.a. Die Änderung der Phytoplankton-Konzentration über die Zeit (t) kann somit durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$P_t = P_0 * e^{(k-g)t} \quad (1)$$

P_t ist die Chl.a-Konzentration zur Zeit t

P_0 ist die Chl.a-Konzentration zu Beginn des Experiments

k beschreibt den Phytoplankton Wachstumskoeffizienten und

g beschreibt den Mortalitätskoeffizienten des Phytoplanktons

Die in den Experimenten eingestellten Verdünnungen der natürlichen Seewasserprobe resultierten in 100%-, 70%-, 40%- und 20%-Anteil an unverdünnten Seewasser (natürlichem/unfiltriertem Seewasser) in dem jeweiligen Ansatz. Dies bedeutet, daß ein Ansatz überhaupt nicht manipuliert wurde, während die drei anderen Ansätze zu unterschiedlichen Anteilen (mit filtriertem Seewasser) verdünnt wurden. Damit ergibt sich für (1), daß die Änderung der Phytoplankton-Konzentrationen in den einzelnen Verdünnungsstufen durch die folgenden Gleichungen beschrieben werden können:

$$P_t = P_0 * e^{(k-1.0g)t} \quad (2)$$

$$P_t = P_0 * e^{(k-0.7g)t} \quad (3)$$

$$P_t = P_0 * e^{(k-0.4g)t} \quad (4)$$

$$P_t = P_0 * e^{(k-0.2g)t} \quad (5)$$

Da für die Inkubationsdauer der Experimente davon ausgegangen wird, daß die Phytoplanktonmortalität ausschließlich durch das Grazing der Heterotrophen bedingt ist, wird aus (2) bis (5) ersichtlich, daß mit steigender Verdünnung und in linearer Abhängigkeit davon, der Einfluß des Grazings auf die Änderungen der Phytoplankton-Konzentrationen abnimmt. Daraus folgt, daß die Phytoplankton-Wachstumsraten mit steigender Verdünnung höhere Werte annehmen werden als in den jeweils weniger verdünnten Proben.

Für die Berechnung der Wachstums- und Grazingraten der einzelnen Experimente wurden von allen Verdünnungsansätzen die Chl.a-Konzentrationen vor und nach Beendigung des

Experiments ermittelt. Von den vier Verdünnungsstufen wurden jeweils 3 Parallelproben angesetzt. Über eine lineare Regression für die ermittelten Einzelwerte kann eine Bewertung der Experimente vorgenommen werden und weiterführende Berechnungen auf der Basis der ermittelten Parameter der Regression durchgeführt werden.

Mit Chl.*a* als Biomasseparameter kann die Netto-Wachstumsrate oder "apparent growth rate" (k-g) (LANDRY und HASSETT 1982) des Phytoplanktons in den einzelnen Verdünnungsstufen wie folgt berechnet werden:

$$(k-g) = 1/t \ln P_t/P_0 \quad (6)$$

Zur grafischen Darstellung (Abb. 5) werden die Einzelergebnisse (6) mit den entsprechenden Werten für den Anteil an unfiltriertem Seewasser, die auf der Abszisse abgetragen sind, in ein lineares Koordinatensystem eingetragen. Der Wert für den Punkt an dem die Gerade für die lineare Regression die Ordinate kreuzt, entspricht dem Phytoplankton Wachstumskoeffizienten "k", denn an diesem Punkt gilt: $(k-0.0g) = k$.

Der Grazing-Koeffizient "g" (= Mortalitätskoeffizient des Phytoplanktons, s.o.) ergibt sich ebenfalls aus der linearen Regression und entspricht dem negativen Wert der Steigung der Regressionsgeraden bzw.

$$g = -k - 1/t \ln P_t/P_0 \quad (7)$$

Auf Grund der dargestellten Beziehungen und der jeweils für ein Verdünnungsexperiment ermittelten Größen für "k" und "g" lassen sich folgende weiterführenden Berechnungen vornehmen:

- Die Verdoppelungszeit " μ " für das autotrophe Phytoplankton in den Verdünnungsansätzen kann wie folgt berechnet werden:

$$\mu = k/\ln 2 \quad [d] \quad (8)$$

- Die "potentielle" Produktion, d.h. das theoretisch erreichbare Maß an Änderung der Chl.a-Konzentrationen unter der imaginären Voraussetzung, daß keine Grazer vorhanden sind, ergibt sich nach:

$$P_t = P_0 * e^{(k)t} - P_0 \quad (9)$$

- Die "aktuelle" Produktion, d.h. das quantitative Maß an Chl.a-Konzentrationsänderung, daß in Gegenwart der Grazer erzielt werden kann, berechnet sich nach folgender Beziehung:

$$P_t = P_0 * e^{(k-g)t} - P_0 \quad (10)$$

Zur Berechnung des tatsächlichen Grazing-Einflusses des Mikrozooplanktons auf den Phytoplankton-Bestand muß berücksichtigt werden, daß neben der Produktion der Autotrophen gleichzeitig ein gewisser Anteil an diesem Bestand durch das Grazing des herbivoren Mikrozooplanktons dezimiert wird. Durch Subtraktion der "aktuellen" Produktion, als quantitative Größe für die Produktion von Chl.a bei Anwesenheit von Grazern, von der "potentiellen" Produktion, die die Chl.a-Produktion bei Abwesenheit von Grazern beschreibt, ergibt sich ein quantitatives Maß für den Grazing-Einfluß des Mikrozooplanktons auf den Phytoplanktonbestand. Für die mathematische Darstellung ergibt sich durch Subtraktion der Gleichung (10) von (9)

$$P_t = [P_0 * e^{(k)t} - P_0] - [P_0 * e^{(k-g)t} - P_0] \quad \text{bzw.}$$

$$P_t = P_0(1 - e^{gt}) \quad (11)$$

3.7.2 Versuchsdurchführung

Abbildung 5 zeigt schematisch den Versuchsablauf eines Verdünnungsexperiments. Das Probenwasser wurde mit Hilfe von Wasserschöpfern (10l NOEX- bzw. NISKIN-Wasserschöpfer) gewonnen. Dem voraus wurde zur Vorbereitung des Verdünnungswassers Seewasser aus derselben Tiefe beprobt, aus der später auch das Probenwasser entnommen wurde. Das Verdünnungswasser wurde über 0,2 µm Polycarbonatfilter (mit GF/F Vorfilter) filtriert und bei *in situ* Temperatur im Dunkeln aufbewahrt. 1991 wurde, soweit möglich, das

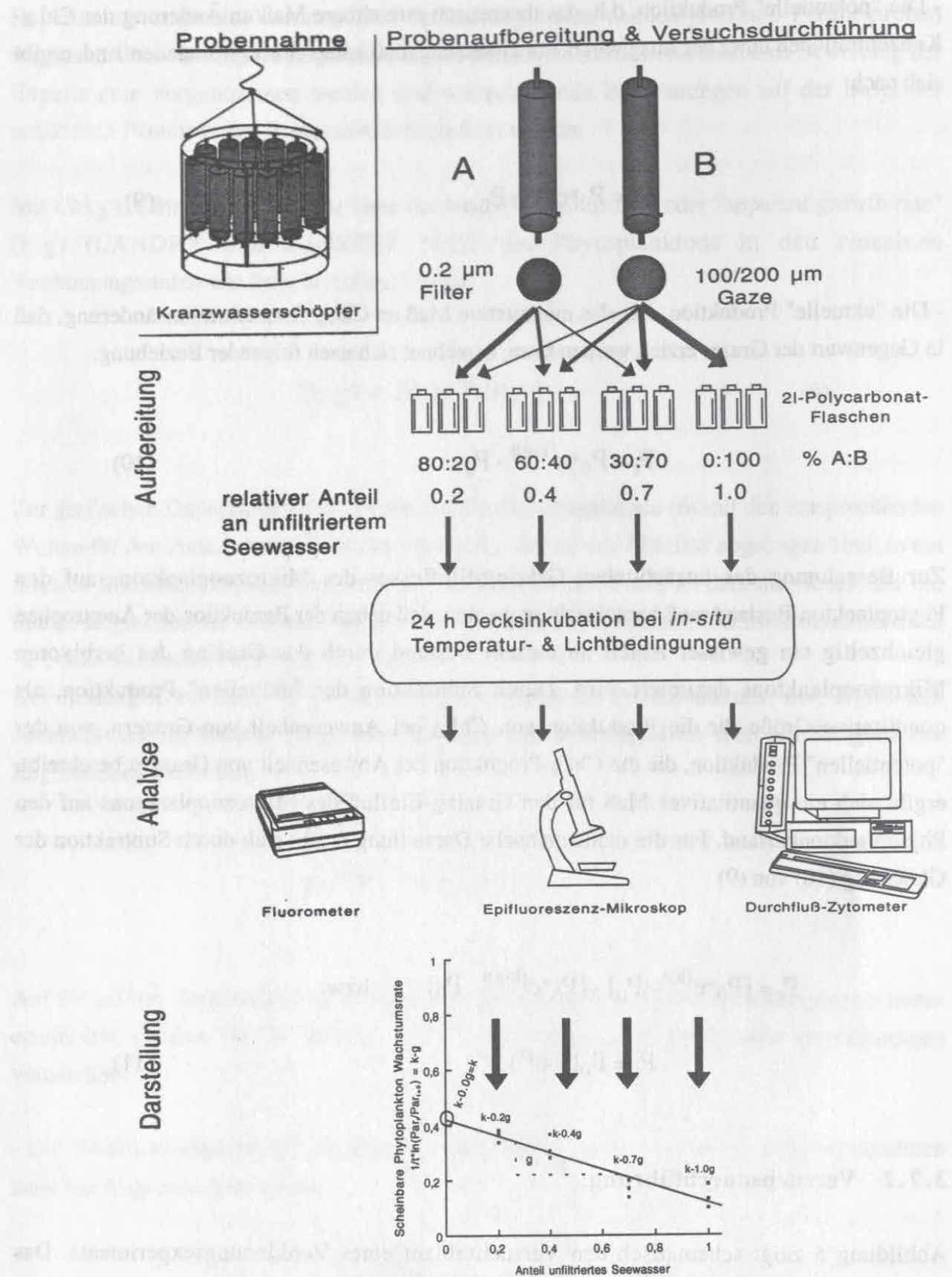


Abb.5: Schematische Darstellung der Versuchsdurchführung von Serial-Dilution-Experimenten zur Bestimmung der Grazingaktivität von natürlichen Mikrozooplankton-Populationen. Die Proben für die einzelnen Untersuchungsparameter werden vor und nach der Inkubation entnommen, die Nährstoffkonzentrationen werden nur in dem unverdünnten Ansatz kontrolliert.

Probenwasser aus dem Chl.a-Maximum in der Wassersäule gewonnen, da bekannt war, daß dieses meist auch mit einem Bestandsmaximum des Mikrozooplanktons einhergeht (z.B. ANTIA 1991). 1992 wurden alle Experimente mit Seewasser aus 20m Tiefe durchgeführt. Mit Säure vorbehandelte 10 l Wasserkanister wurden mit dem entsprechenden Anteil an filtriertem Seewasser beschickt, zu dem anschließend der jeweilige Anteil an unfiltriertem Probenwasser vorsichtig hinzugefügt wurde. Zum Ausschluß größerer Grazer wurde 1991 das Probenwasser über eine 200 µm Gaze vorfraktioniert. 1992 wurde eine 100 µm Gaze benutzt, da festgestellt wurde, daß im Größenbereich von 100-200 µm eine große Anzahl von Crustaceen-Nauplien vorhanden waren. Diese können durch ihre Freßaktivität den Versuchablauf maßgeblich beeinflussen. Die so eingestellten Verdünnungen wurden anschließend auf jeweils drei 2l Polycarbonatflaschen (PC-Flaschen) aufgeteilt. Für die Inkubationsdauer von 24 h wurden die PC-Flaschen in Wannen aufbewahrt. Die Wannen waren mit fließendem Seewasser versorgt und mit Folien abgedeckt, so daß hinsichtlich Temperatur und Lichtklima weitestgehend *in situ* Verhältnisse vorlagen. Die Größe der Wannen wurde so gewählt, daß die Flaschen aufgrund der Schiffsbewegungen in den Wannen hin und her bewegt und somit die Partikel in Suspension gehalten wurden. Die in den Kanistern verbliebenen Reste der Verdünnungsansätze wurden für die einzelnen Untersuchungsparameter beprobt (Chl.a, Nährstoffe, Zellzählungen). Die Einstellung der beabsichtigten Verdünnungsstufen und der nach der Chl.a-Analyse tatsächlich ermittelte Verdünnungsfaktor wichen häufig voneinander ab (siehe auch GIFFORD 1988). Aus diesem Grund wurden alle davon betroffenen Berechnungen stets mit den tatsächlich bestimmten Verdünnungsfaktoren vorgenommen. Nach der Inkubationszeit wurden alle Parallelproben entsprechend beprobt, wobei die Nährstoff-Analysen jeweils nur bei dem unverdünnten Ansatz vorgenommen wurden.

4. ERGEBNISSE

Die Daten, die dieser Arbeit zugrunde liegen, wurden während zwei Forschungsausfahrten mit den Forschungsschiffen "METEOR" und "POLARSTERN" erhoben. In Abschnitt 4.1 werden zunächst die Ergebnisse der METEOR-Expedition M17/1 dargestellt, die in der Zeit vom 15.07. - 08.08.1991 im Europäischen Nordmeer stattfand und ihren Schwerpunkt der Untersuchungen im Bereich westlich der Bären-Insel fand. In Abschnitt 4.2 folgt eine Darstellung der Ergebnisse der POLARSTERN-Expedition ANT X/6 vom 29.09. - 29.11.1992 im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres. In beiden Abschnitten wird zunächst versucht anhand der Hydrographie, der Nährstoff-Verteilung und verschiedener Parameter für Plankton-Biomasse und -Aktivität, eine Beschreibung der untersuchten pelagischen Systeme vorzunehmen. Es folgt jeweils die Darstellung der Abundanz- und Biomasseverteilung und der taxonomischen Zusammensetzung des Mikrozooplanktons in den untersuchten Meeresgebieten. Anhand der Ergebnisse der Serial-Dilution-Experimente soll eine Betrachtung der vorgefundenen Freßaktivität des MZP vorgenommen werden. Bei den Freßexperimente während ANT X/6 wurden erweiterte experimentelle Ansätze und Analyse-Methoden eingesetzt (Epifluoreszenz-Mikroskopie und Durchfluß-Zytometrie). Die Ergebnisse dieser zusätzlichen Analysen sollen vor dem Hintergrund möglicherweise bestehender Nahrungspräferenzen des MZP betrachtet werden.

4.1 Untersuchungen im Europäischen Nordmeer während der METEOR-Expedition M17/1

4.1.1 Hydrographie

Die Stationen westlich der Bäreninsel (St.375-436) liegen alle im Bereich des West-Spitzbergen-Stroms und weisen für diesen charakteristische Temperatur- und Salzgehaltswerte auf (Abb.6). An der Oberfläche liegen die Temperatur- und Salzgehaltswerte zwischen 7.5 - 8.5°C und S=34.8 - 35.1. Die Lage der thermohalinen Sprungschicht variiert zwischen ca. 25m und 40m und trennt einen oberflächennahen relativ warmen, salzarmen Wasserkörper von den tieferen Bereichen. Die Gradienten im Bereich der Sprungschichttiefe sind unterschiedlich, meist aber relativ schwach ausgeprägt.

Die Hydrographie der im Bereich des Jan-Mayen-Stromes liegenden St.444 unterscheidet sich deutlich von den Stationen westlich der Bären-Insel. Hier liegt die Oberflächentemperatur bei 5°C und der -Salzgehalt lediglich bei S=31.5 (Abb.6). Die Temperaturverteilung in den oberen 30m ist relativ homogen und eine scharfe thermische Sprungschicht trennt einen mit ca. 1°C deutlich kälteren Wasserkörper von der oberflächennahen Zone. Auffällig ist die Diskrepanz der

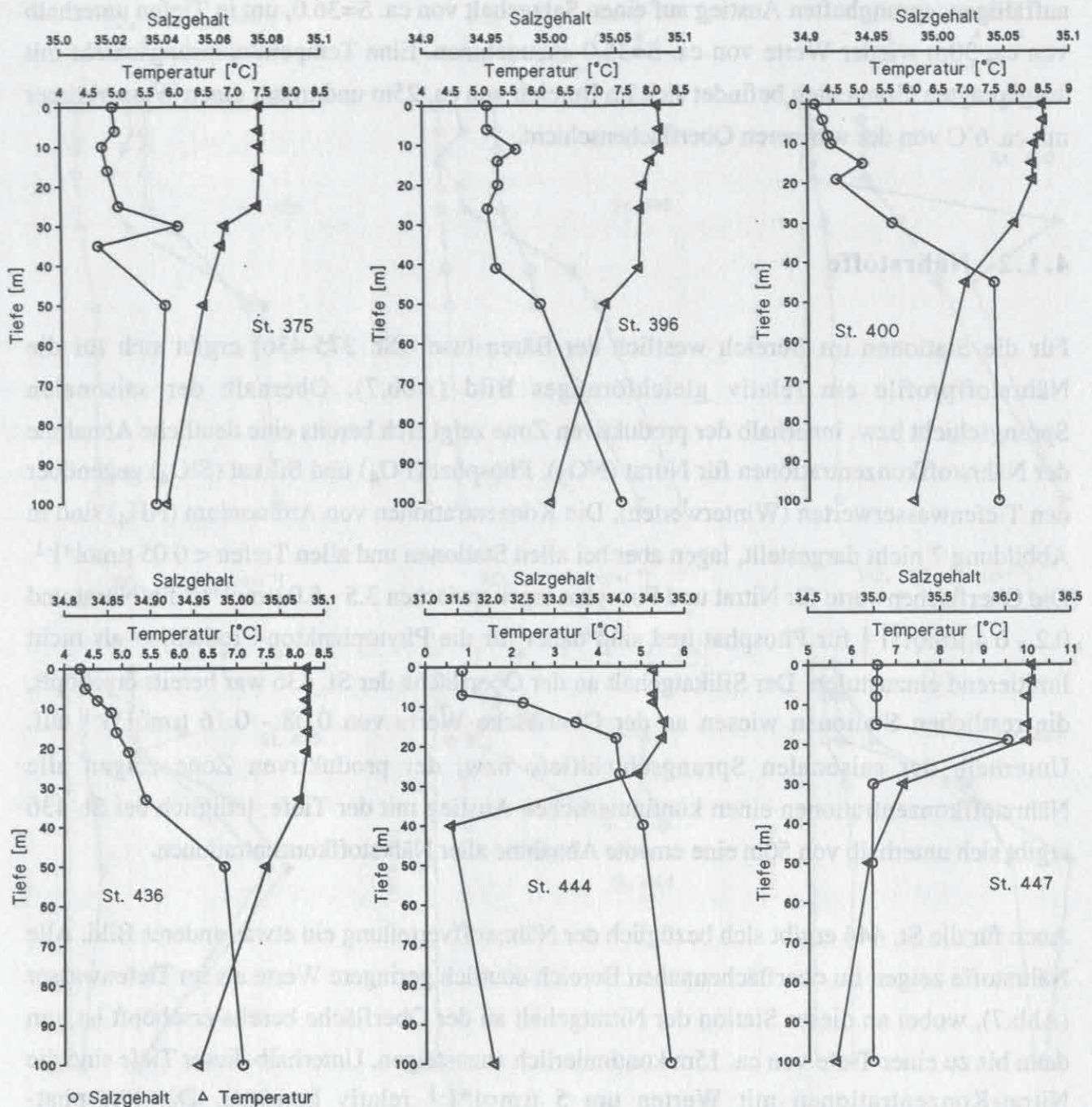


Abb. 6: Tiefenprofile der Temperatur und des Salzgehaltes. Die Stationen 375-436 liegen im Untersuchungsgebiet westlich der Bären-Insel, die St. 444 im Jan-Mayen Strom und die St. 447 über dem Lofoten-Becken.

Temperatur- zur Salzgehaltsverteilung. Eine durch starke Gradienten gekennzeichnete haline Sprungschicht in ca. 10m trennt eine oberflächennahe, ausgesüßte Schicht von einer tiefer gelegenen Zone mit Salzgehalten von ca. $S=34.5 - 35.0$.

St.447 über dem Lofoten-Becken liegt im Bereich des Norwegen-Stroms mit seinen deutlich atlantisch geprägten Temperatur- und Salzgehaltscharakteristika (Abb.6). Oberhalb von ca. 15m befindet sich eine homogen durchmischte Oberflächenschicht mit einer Temperatur von ca.

10°C und einem Salzgehalt von $S=35.0$. Unterhalb dieser Zone zeigt das Salzgehaltsprofil einen auffälligen, sprunghaften Anstieg auf einen Salzgehalt von ca. $S=36.0$, um in Tiefen unterhalb von ca. 30m wieder Werte von ca. $S=35.0$ anzunehmen. Eine Temperatursprungschicht mit ausgeprägten Gradienten befindet sich im Bereich von ca. 25m und trennt einen Wasserkörper mit ca. 6°C von der wärmeren Oberflächenschicht.

4.1.2 Nährstoffe

Für die Stationen im Bereich westlich der Bären-Insel (St. 375-436) ergibt sich für die Nährstoffprofile ein relativ gleichförmiges Bild (Abb.7). Oberhalb der saisonalen Sprungschicht bzw. innerhalb der produktiven Zone zeigt sich bereits eine deutliche Abnahme der Nährstoffkonzentrationen für Nitrat (NO_3), Phosphat (PO_4) und Silikat (SiO_4) gegenüber den Tiefenwasserwerten (Winterwerten). Die Konzentrationen von Ammonium (NH_4) sind in Abbildung 7 nicht dargestellt, lagen aber bei allen Stationen und allen Tiefen $< 0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Die Oberflächenwerte für Nitrat und Phosphat lagen zwischen $3.5 - 5.0 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ für Nitrat und $0.2 - 0.4 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ für Phosphat und sind daher für die Phytoplankton-Produktion als nicht limitierend einzustufen. Der Silikatgehalt an der Oberfläche der St. 436 war bereits erschöpft, die restlichen Stationen wiesen an der Oberfläche Werte von $0.08 - 0.16 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ auf. Unterhalb der saisonalen Sprungschichttiefe bzw. der produktiven Zone zeigen alle Nährstoffkonzentrationen einen kontinuierlichen Anstieg mit der Tiefe, lediglich bei St. 436 ergibt sich unterhalb von 50m eine erneute Abnahme aller Nährstoffkonzentrationen.

Auch für die St. 444 ergibt sich bezüglich der Nährstoffverteilung ein etwas anderes Bild. Alle Nährstoffe zeigen im oberflächennahen Bereich deutlich geringere Werte als im Tiefenwasser (Abb.7), wobei an dieser Station der Nitratgehalt an der Oberfläche bereits erschöpft ist, um dann bis zu einer Tiefe von ca. 15m kontinuierlich anzusteigen. Unterhalb dieser Tiefe sind die Nitrat-Konzentrationen mit Werten um $5 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ relativ konstant. Die Phosphat-Konzentrationen zeigen vom Verlauf her einen ähnlichen Trend, an der Oberfläche waren aber noch Konzentrationen von $0.06 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ anzutreffen. Die Oberflächenkonzentration für Silikat betrug $1.79 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, nahm bis zu einer Tiefe von ca. 20m kontinuierlich ab und stieg unterhalb dieser Tiefe wieder stetig an. Auch an dieser Station waren die Ammonium-Konzentrationen über alle Tiefen $< 0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ (nicht dargestellt).

Die Konzentrationen aller dargestellten Nährstoffe der St. 447 weisen in der oberflächennahen Schicht eine deutliche Verringerung gegenüber den Tiefenwasserwerten auf (Abb.7). Bis zu einer Tiefe von ca. 20m sind die Konzentrationen für Phosphat mit Werten um $0.28 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ und für Nitrat mit Werten um $1.4 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ nahezu konstant. Unterhalb dieser Tiefe steigen sie stetig an, um in einer Tiefe von 100m Werte von $0.84 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ für Phosphat bzw. $12.44 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ für Nitrat anzunehmen.

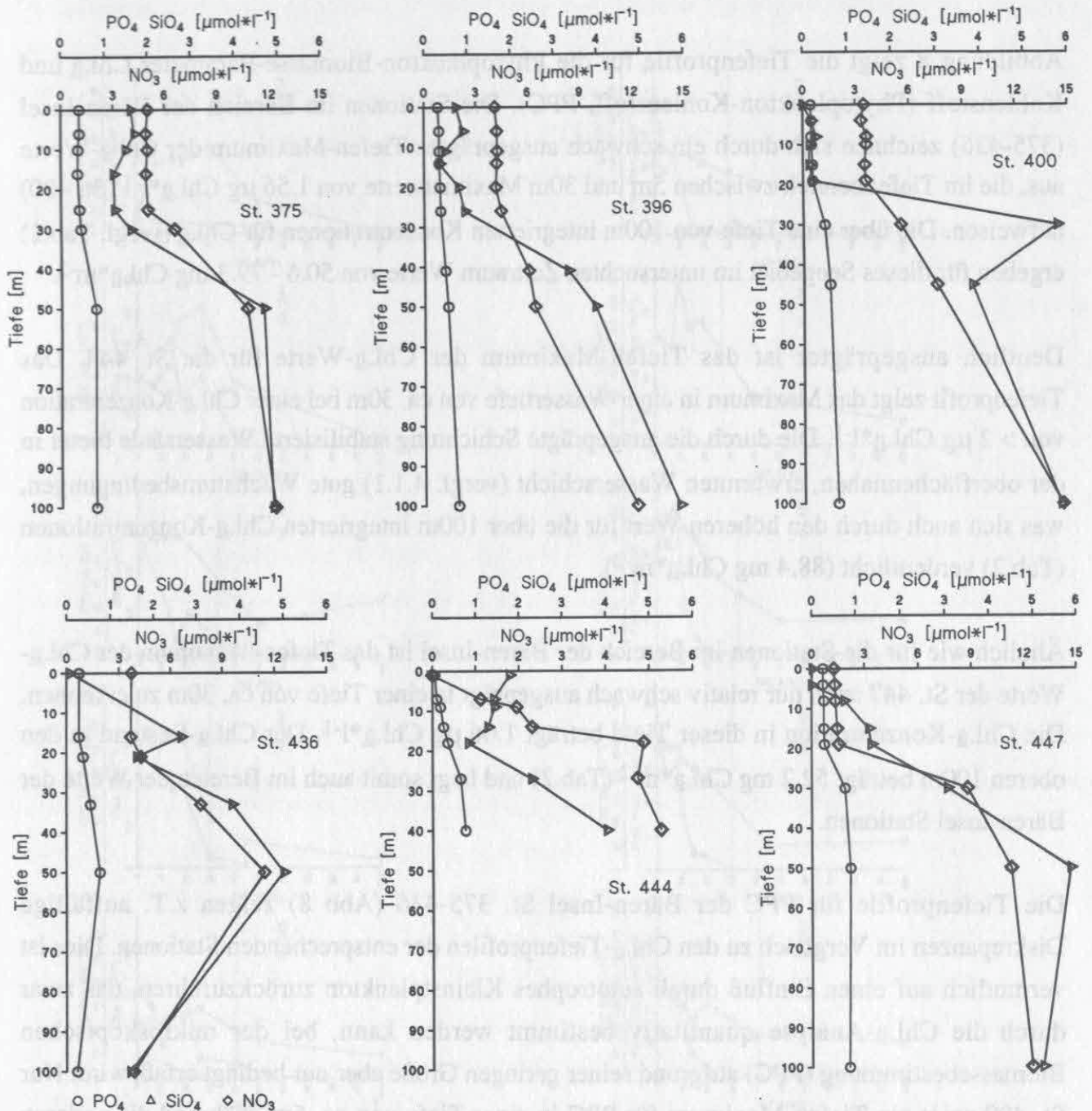


Abb. 7: Vertikalprofile der Konzentrationen der anorganischen Nährstoffe Phosphat, Silikat und Nitrat für die Stationen im Bereich der Bären-Insel (375-436), des Jan-Mayen Stromes (St. 444) und über dem Lofoten-Becken (St. 447). Die Ammonium-Konzentrationen (nicht dargestellt) waren an allen Stationen über die beprobten Tiefen $< 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Die Ammonium-Konzentrationen nehmen auch an dieser Station über alle Tiefen Werte von $< 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ an.

An der Oberfläche ist der Silikatgehalt erschöpft und steigt dann bis zu einer Tiefe von 50m stetig an. Unterhalb von 50m werden wieder leicht geringere Werte erreicht.

4.1.3 Biomasseparameter und Primärproduktion

Abbildung 8 zeigt die Tiefenprofile für die Phytoplankton-Biomasse-Parameter Chl.a und Kohlenstoff (Phytoplankton-Kohlenstoff, PPC). Die Stationen im Bereich der Bären-Insel (375-436) zeichnen sich durch ein schwach ausgeprägtes Tiefen-Maximum der Chl.a-Werte aus, die im Tiefenbereich zwischen 5m und 30m Maximalwerte von $1.56 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1}$ (St. 400) aufweisen. Die über eine Tiefe von 100m integrierten Konzentrationen für Chl.a (vergl. Tab.2) ergeben für dieses Seegebiet im untersuchten Zeitraum Werte von $50.6 - 79.3 \text{ mg Chl.}\underline{a} \cdot \text{m}^{-2}$.

Deutlich ausgeprägter ist das Tiefen-Maximum der Chl.a-Werte für die St. 444. Das Tiefenprofil zeigt das Maximum in einer Wassertiefe von ca. 30m bei einer Chl.a-Konzentration von $> 2 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1}$. Die durch die ausgeprägte Schichtung stabilisierte Wassersäule bietet in der oberflächennahen, erwärmten Wasserschicht (vergl. 4.1.1) gute Wachstumsbedingungen, was sich auch durch den höheren Wert für die über 100m integrierten Chl.a-Konzentrationen (Tab.2) verdeutlicht ($88.4 \text{ mg Chl.}\underline{a} \cdot \text{m}^{-2}$).

Ähnlich wie für die Stationen im Bereich der Bären-Insel ist das Tiefen-Maximum der Chl.a-Werte der St. 447 auch nur relativ schwach ausgeprägt in einer Tiefe von ca. 30m zu erkennen. Die Chl.a-Konzentration in dieser Tiefe beträgt $1.06 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1}$. Der Chl.a-Bestand in den oberen 100m beträgt $52.2 \text{ mg Chl.}\underline{a} \cdot \text{m}^{-2}$ (Tab.2) und liegt somit auch im Bereich der Werte der Bären-Insel Stationen.

Die Tiefenprofile für PPC der Bären-Insel St. 375-436 (Abb 8) zeigen z.T. auffällige Diskrepanzen im Vergleich zu den Chl.a-Tiefenprofilen der entsprechenden Stationen. Dies ist vermutlich auf einen Einfluß durch autotrophes Kleinstplankton zurückzuführen, das zwar durch die Chl.a-Analyse quantitativ bestimmt werden kann, bei der mikroskopischen Biomassebestimmung (PPC) aufgrund seiner geringen Größe aber nur bedingt erfaßt wird. Nur St. 400 zeigt ein Tiefen-Maximum für PPC in einer Tiefe von ca. 5m, während die anderen Stationen ihre höchsten Werte an der Oberfläche aufweisen. Die über die Euphotische Zone integrierten PPC-Werte liegen zwischen $635.4 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2}$ und $1069.1 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2}$. Aus den Utermöhl-Proben der Stationen im Bereich der Bären-Insel wurde ersichtlich, daß die durch diese Proben quantifizierbaren Phytoplanktonbestände hinsichtlich der Abundanz deutlich durch Diatomeen der Gattungen *Chaetoceros* und *Rhizosolenia* dominiert wurden. In Bezug auf die Phytoplankton-Biomasse (PPC) war die Dominanz der Diatomeen, vornehmlich durch den Einfluß großer Dinoflagellaten der Gattungen *Gymnodinium* und *Ceratium* weniger deutlich zu erkennen.

Die Unterschiede in den Profilverläufen zwischen den Phytoplankton-Biomasse-Parametern Chl.a und PPC lassen sich auch für die St. 444 und St. 447 aufzeigen. Hier betragen die über die produktive Zone integrierten PPC-Werte $1117.4 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2}$ bzw. $264.2 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2}$, wobei der Wert für St. 447 den geringsten Wert aller beprobten Stationen darstellt.

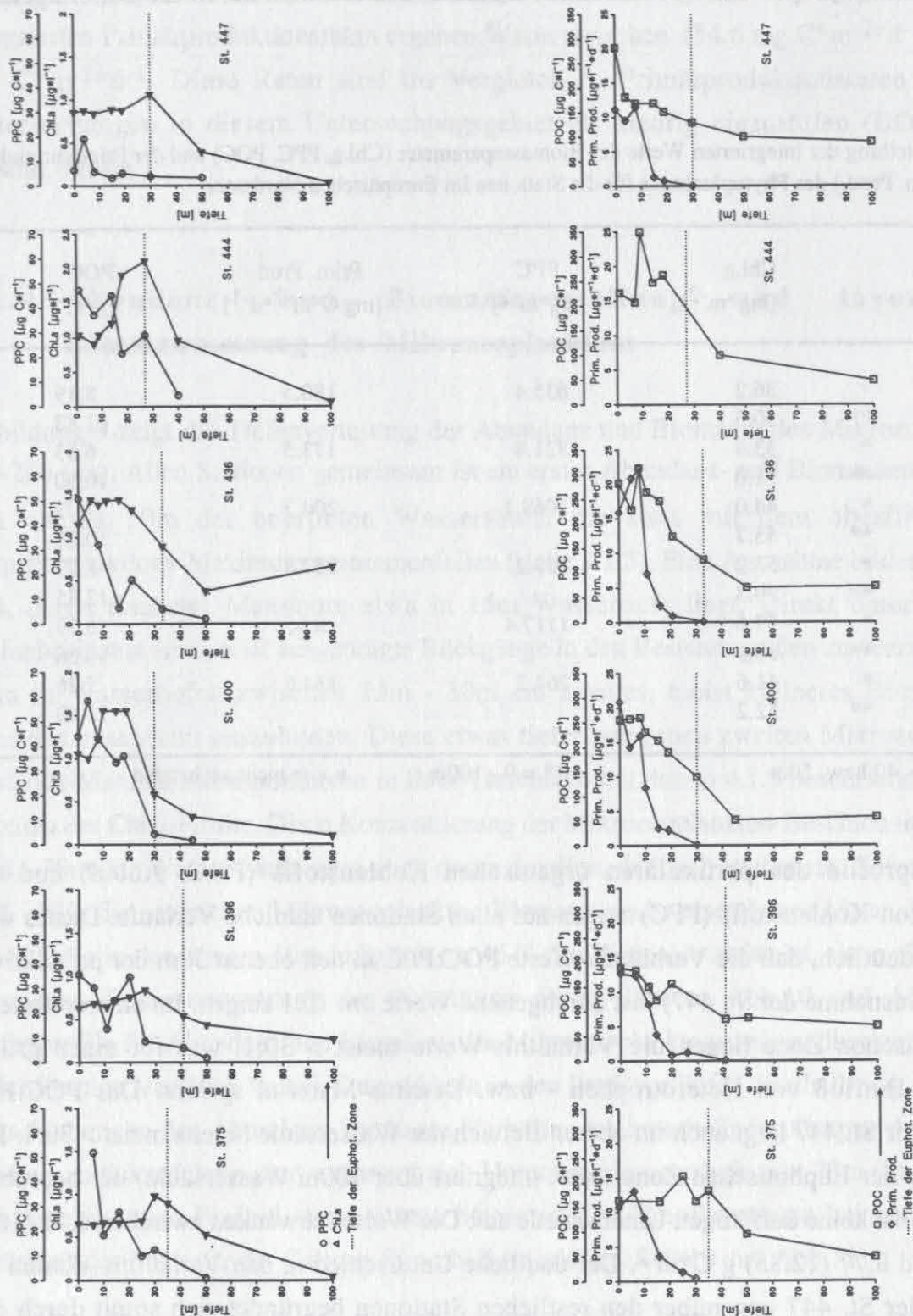


Abb. 8: Vertikalprofile der Phytoplankton-Biomasse-Parameter Chl.a und PPC (links bzw. oben). Die Tiefenprofile für Primärproduktion und POC sind rechts (bzw. unten) dargestellt. Die gestrichelte Linie beschreibt die Untergrenze der Euphotischen Zone ($\geq 1\%$ Lichttiefe).

Für den Phytoplankton-Bestand der Station 444 zeigt sich hinsichtlich der Zellzahlen eine Dominanz für Diatomeen der Gattungen *Nitzschia* und *Thalassiosira*, wohingegen sich die Phytoplankton-Biomasse (PPC) etwa zu gleichen Teilen aus Diatomeen und Dinoflagellaten

zusammensetzt. Der Phytoplankton-Bestand der St. 447 über dem Lofoten-Becken weist in Bezug auf die Abundanz hohe Anteile für Cryptophyceen und Dinoflagellaten (*Gymnodinium spp.*) auf. Die Phytoplankton-Biomasse (PPC) dieser Station wird durch die Dinoflagellaten dominiert.

Tab.2: Aufstellung der integrierten Werte der Biomasseparameter (Chl.a, PPC, POC) und der Primärproduktion (Prim. Prod.) des Phytoplanktons für die Stationen im Europäischen Nordmeer.

Station		Chl.a [mg*m ⁻²]	PPC [mg*m ⁻²]	Prim. Prod [mg C*m ⁻² *d ⁻¹]	POC [g*m ⁻²]
375	*	36.2	635.4	180.5	8.19
	**	50.6			11.83
396	*	33.4	821.8	173.5	6.53
	**	51.0			10.50
400	*	44.0	1069.1	204.7	7.73
	**	55.7			10.76
436	*	53.2	759.2	237.8	8.77
	**	79.3			12.35
444	*	57.6	1117.4	n.v.	6.19
	**	88.4			10.66
447	*	41.6	264.2	134.6	7.26
	**	52.2			11.99

* = 0 - 40 bzw. 50m

** = 0 - 100m

n.v. = nicht vorhanden

Die Tiefenprofile des partikulären organischen Kohlenstoffs (POC, Abb.8) und des Phytoplankton-Kohlenstoffs (PPC) zeigen auf allen Stationen ähnliche Verläufe. Dieses wird auch daran deutlich, daß die Verhältnis-Werte POC:PPC in den oberen 30m der produktiven Zone (mit Ausnahme der St. 447) fast durchgehend Werte um 10:1 zeigen. Im unteren Bereich der Euphotischen Zone liegen die Verhältnis-Werte meist > 30:1, was für einen größer werdenden Einfluß von Heterotrophen - bzw. Detritus-Material spricht. Das POC:PPC Verhältnis der St. 447 liegt auch im oberen Bereich der Wassersäule bereits meist > 30:1. Der POC-Gehalt der Euphotischen Zone (bzw. integriert über 100m Wassersäule) der beprobten Stationen weist keine auffälligen Unterschiede auf. Die Werte schwanken zwischen 6.19 (10.5) g C*m⁻² und 8.77 (12.35) g C*m⁻². Der deutliche Unterschied in den Verhältnis-Werten für POC:PPC der St. 447 gegenüber den restlichen Stationen begründet sich somit durch den deutlich geringeren PPC-Gehalt der St. 447 (siehe oben).

Die Maxima der Primärproduktionsraten des Phytoplanktons liegen bei allen Stationen mit Werten zwischen 11.36 µg C*l⁻¹*d⁻¹ und 22.26 µg C*l⁻¹*d⁻¹ in den oberen 10m der Wassersäule. Mit Ausnahme der Stationen 396 und 436 erstreckt sich die produktive Zone auf die oberen 30m der Wassersäule. Bei Station 396 und 436 ist eine Ausdehnung des genannten

Bereichs bis auf maximal 40m Wassertiefe zu verzeichnen. Für alle Stationen ergibt sich ein auffälliger Unterschied in der Tiefenlage der Bereiche mit maximaler Produktion und der höchsten Phytoplankton-Biomasse-Akkumulation (siehe Abb. 8). Die über die produktive Zone integrierten Primärproduktionsraten ergeben Werte zwischen $134.6 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ und $237.8 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Diese Raten sind im Vergleich zu Primärproduktionsraten vorheriger Untersuchungen in diesem Untersuchungsgebiet als niedrig einzustufen (BODUNGEN, persönl. Mittlg.).

4.1.4 Abundanz- und Biomasseverteilung und taxonomische Zusammensetzung des Mikrozooplanktons

Abbildung 9 zeigt die Tiefenverteilung der Abundanz und Biomasse des Mikrozooplanktons (20-200 μm). Allen Stationen gemeinsam ist ein erstes Abundanz- und Biomassemaximum in den oberen 10m der beprobten Wassersäule, die stets mit dem oberflächennahen Primärproduktions-Maximum zusammenfallen (siehe 4.1.3). Eine Ausnahme bildet hier die St. 444, deren flachstes Maximum etwa in 15m Wassertiefe liegt. Direkt unterhalb dieser Tiefenhorizonte sind meist ausgeprägte Rückgänge in den Bestandsgrößen zu verzeichnen, um dann in Wassertiefen zwischen 15m - 30m ein zweites, meist kleineres Biomasse- und Abundanzmaximum auszubilden. Diese etwas tiefer gelegenen zweiten Mikrozooplankton-Bestands-Maxima korrespondieren in ihrer Tiefenlage mit den in 4.1.3 beschriebenen Tiefen-Maxima der Chl.a-Profile. Diese Konzentrierung der Mikrozooplankton-Bestände in den oberen 25m - 30m der Wassersäule wird auch daran deutlich, daß sich in diesem Tiefenbereich ca. 78% - 91% der ermittelten Mikrozooplankton-Biomasse nachweisen lassen (Ausnahme hier die St. 447, die in den oberen 30m lediglich ca. 45 % der Biomasse aufweist, siehe aber auch die besondere Zusammensetzung der Population dieser Station, Abb.10 und Abb.11). Die Tiefenprofile für Abundanz und Biomasse des Mikrozooplanktons zeigen über weite Bereiche gleichförmige Verläufe, wobei Unterschiede in den Profilverläufen oberhalb von ca. 20m auf Verschiebungen des Abundanz-Biomasse-Verhältnisses innerhalb der Gruppe der aloricate Ciliaten zurückzuführen sind, während sich Unterschiede unterhalb von 20m (St. 436) durch den zunehmenden Einfluß von kleinen, heterotrophen Dinoflagellaten bei gleichzeitigem Rückgang der Vertreter der Gattung Strombidium erklären (Abb.10 und Abb.11).

Die Abundanzverteilung der vorhandenen Taxa innerhalb der Mikrozooplankton-Populationen der einzelnen Stationen ist in Abbildung 10 dargestellt. Für die Stationen im Bereich der Bären-Insel ergeben sich für die gesamte beprobte Wassersäule in Bezug auf die Individuenzahl einzelner Taxa eine deutliche Dominanz für die Vertreter der aloricate Ciliaten. Innerhalb dieser Gruppe dominieren in oberflächennahen Bereichen mit Anteilen von ca. 60% bis zu 100% die Vertreter der Gattung Strombidium. Mit zunehmender Tiefe ergibt sich oft ein Ansteigen der Populationsanteile für Organismen der Gattung Strobilidium und der Gruppe "andere

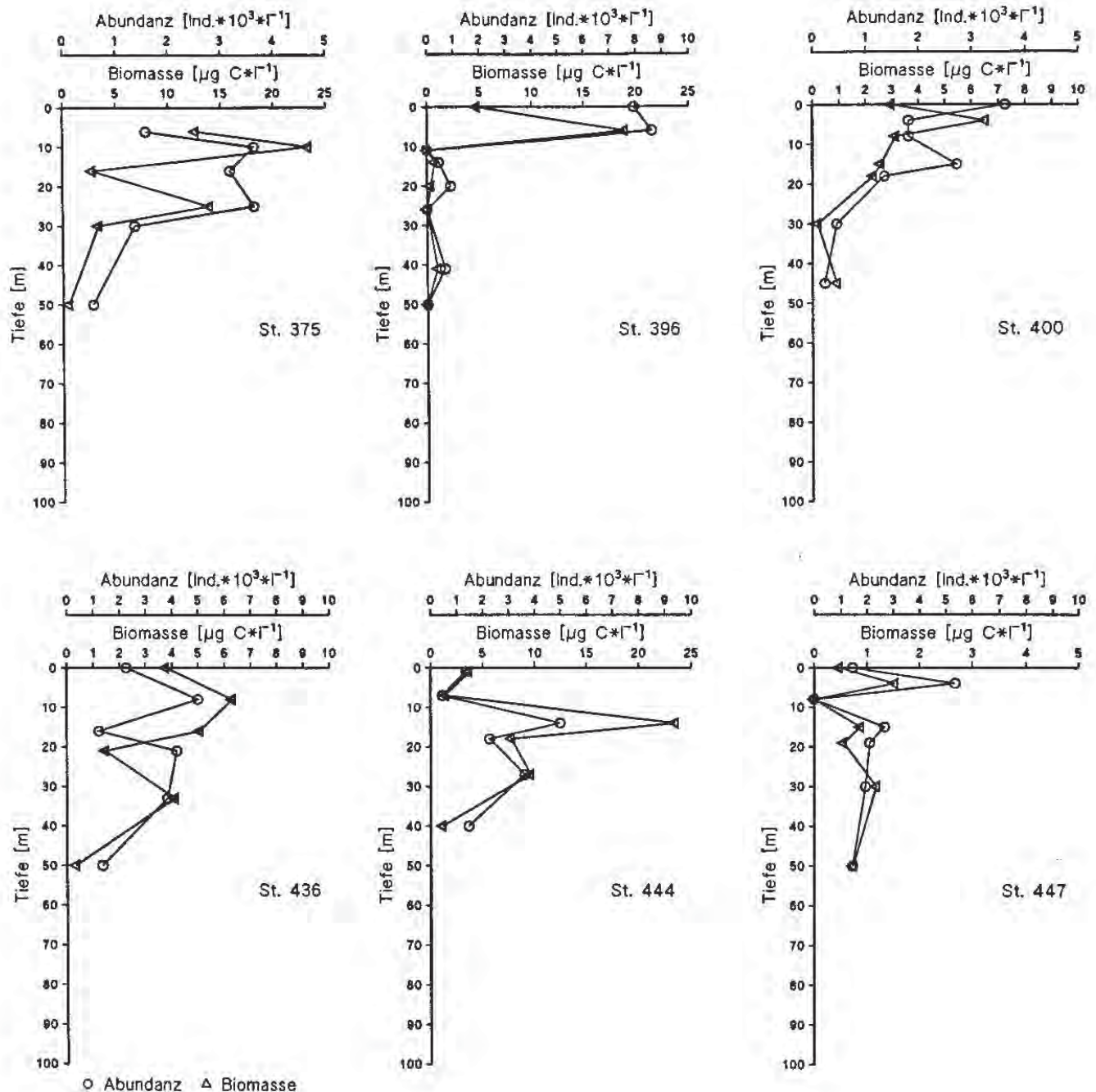


Abb. 9: Tiefenverteilung der Biomasse und der Abundanz des Mikrozooplanktons im Untersuchungsgebiet westlich der Bären-Insel (St. 375-436), im Jan-Mayen-Strom (St.444) und über dem Lofoten-Becken (St. 447).

Aloricate", die Vertreter der Gattungen Lohmaniella, Laboea, Tontonia und Metastrombidium vereint. Auffallend gering sind die Abundanz-Anteile an den Populationen für die Gruppen "Loricata Ciliaten" (Tintinnen) und heterotrophe Dinoflagellaten, die lediglich an der St. 375 jeweils mit Anteilen um 35 % in einzelnen Tiefen vertreten sind. Die Ausnahme bildet hier die St. 436. Hier ist die Population in Bezug auf die Abundanzen der einzelnen Taxa deutlich heterogener zusammengesetzt. Es zeigt sich ein deutlich höherer Einfluß der Gruppe der

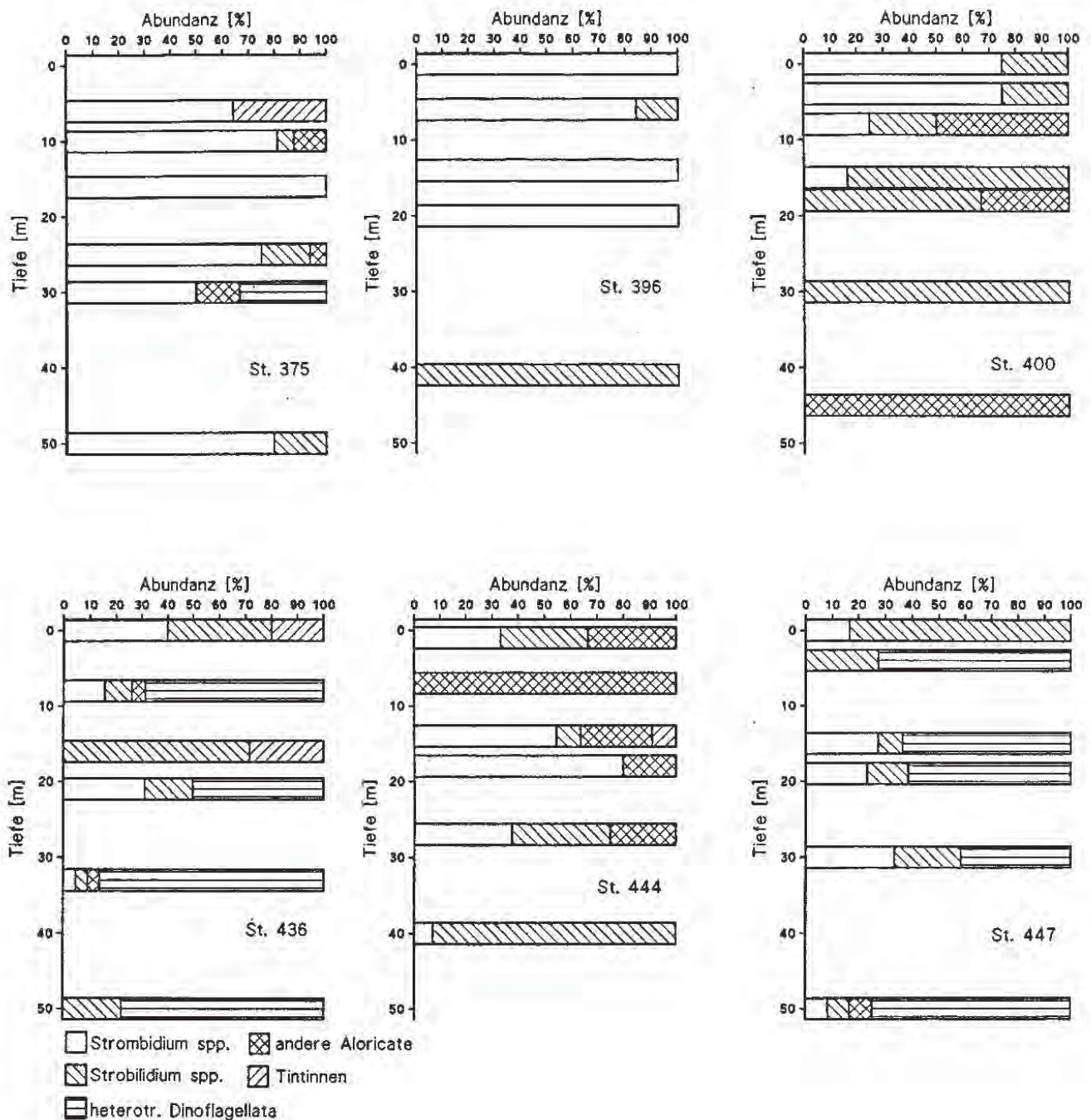


Abb. 10: Der prozentuale Anteil einzelner Taxa bzw. Organismen-Gruppen an der Abundanz der Mikrozooplankton-Populationen im Untersuchungsgebiet von M17/1.

heterotrophen Dinoflagellaten, die in einzelnen Tiefen mit Anteilen von > 50% die Populationen sogar dominieren. Die Gruppe der Tintinnen ist in zwei Tiefen mit Anteilen von 20%-30% vertreten und setzt sich aus den Arten *Acanthostomella norvegica*, *Parafavella* sp. und *Ptychocyclis obtusa* zusammen.

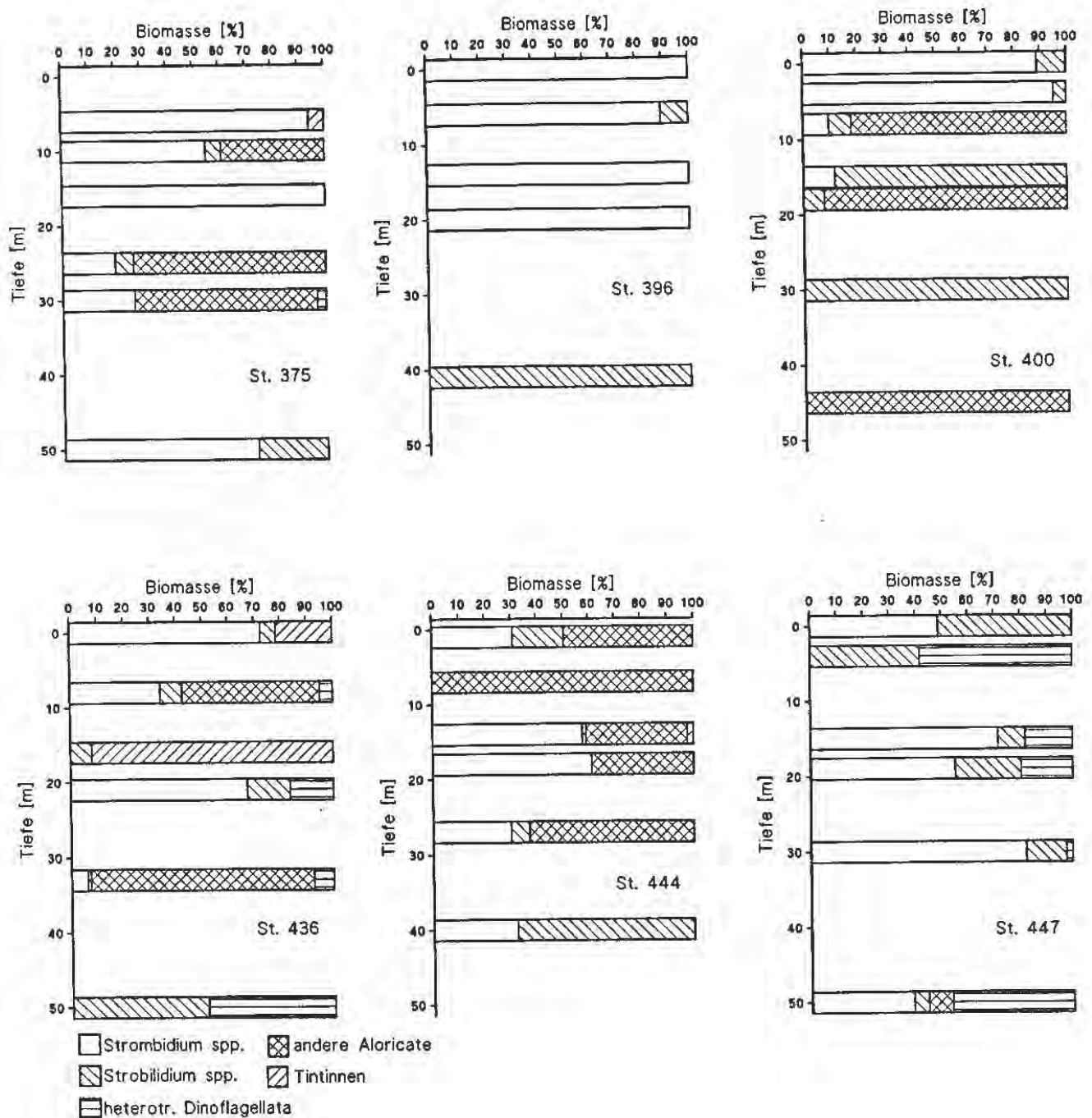


Abb. 11: Der prozentuale Anteil einzelner Taxa bzw. Organismen-Gruppen an der Biomasse der Mikrozooplankton-Populationen im Untersuchungsgebiet von M17/1.

Die Jan-Mayen-Strom St. 444 wird über alle beprobten Tiefenbereiche durch die aloricate Ciliaten dominiert (Abb.10). Im Gegensatz zu den Stationen 375 - 400 sind die einzelnen Taxa innerhalb dieser Gruppe in ihren Anteilen gleichmäßiger vertreten.

Die Population der St. 447 über dem Lofoten-Becken wird mit Abundanz-Anteilen von ca. 35% bis 75% durch die heterotrophen Dinoflagellaten dominiert, lediglich an der Oberfläche wird die

Dominanz wiederum durch die Vertreter der Gattungen *Strombidium* und *Strobilidium* gestellt (Abb.10).

Die für die Stationen im Bereich der Bären-Insel festgestellte auffällige Dominanz in der Abundanz für die Taxa der aloricate Ciliaten, wird bei der Betrachtung der Biomasseverteilung der Mikrozooplankton-Populationen an diesen Stationen noch deutlicher (Abb. 11). Die an der St. 375 und an der St. 436 in Bezug auf ihren Abundanzanteil an den Populationen in einzelnen Tiefenstufen z.T. dominanten (St. 436) heterotrophen Dinoflagellaten, werden in ihrer Bedeutung für den Biomasseanteil an den Populationen deutlich zurückgedrängt und besitzen lediglich an der St. 436 in der Tiefe von 50m noch einen nennenswerten Anteil an der Biomasse von ca. 50%. Ähnlich wie bei der Abundanzverteilung der Mikrozooplankton-Population dieser Stationen ergibt sich auch in Bezug auf deren Biomasse eine Dominanz der Vertreter der Gattung *Strombidium* in Oberflächennähe. Mit zunehmender Tiefe wird auch in Bezug auf die Biomasseverteilung der Anteil der anderen Taxa innerhalb der Gruppe der aloricate Ciliaten größer. Hier ist vornehmlich die mehrere Gattungen umfassende Gruppe der "anderen Aloricate" zu nennen, die oft verhältnismäßig höhere Anteile an der Biomasse besitzt, als es sich aus der Abundanzverteilung ergibt. Der zunehmende Einfluß dieser Gruppe auf die Biomasseverteilung ist fast ausschließlich auf die Arten *Laboea strobila* und *Lohmaniella oviformis* zurückzuführen. Lediglich an der St. 436 besitzen die Tintinnen nennenswerte Anteile an der Biomasse und dominieren hier mit > 90% in einer Tiefenstufe (16m), während ihre Biomasseanteile an den anderen Stationen der Bären-Insel Gruppe stets < 10% ausmachen. Die über die Beprobungstiefe integrierten Biomassewerte des Mikrozooplanktons schwanken zwischen 89.2 - 307.66 mg C*m⁻².

Die Biomasseverteilung der St. 444 (Abb. 11) zeigt ein weitgehend ähnliches Muster wie es sich aus der Abundanzverteilung der Mikrozooplankton-Taxa an dieser Station ergab (Abb.10), und deutet daher auf ein relativ konstantes Abundanz-Biomasse-Verhältnis über die Tiefe hin. Die Gesamt-Population des Mikrozooplanktons weist an dieser Station einen Kohlenstoff-Gehalt von 313.55 mg C*m⁻² auf.

In ihrer Bedeutung für den Biomasseanteil der St. 447 zeigen die heterotrophen Dinoflagellaten auch an dieser Station eine deutliche Diskrepanz gegenüber ihren Abundanzanteilen. Es wird deutlich, daß die Dinoflagellaten zwar oft hohe Zellzahlen aufweisen (Abb.10), wohingegen die individuelle Biomasse verhältnismäßig gering ist (Abb.11). Die Biomasse der Gesamt-Population des Mikrozooplanktons dieser Station beträgt 41.79 mg C*m⁻².

4.1.5 Freßexperimente mit natürlichen Mikrozooplankton-Populationen

Zur Ermittlung des Freßdrucks natürlicher Mikrozooplankton-Populationen auf den Phytoplanktonbestand wurden auf den Stationen 375-447 Serial-Dilution-Experimente (SDE) durchgeführt. Die Experimente wurden mit Proben durchgeführt, die aus einer Lichttiefe von

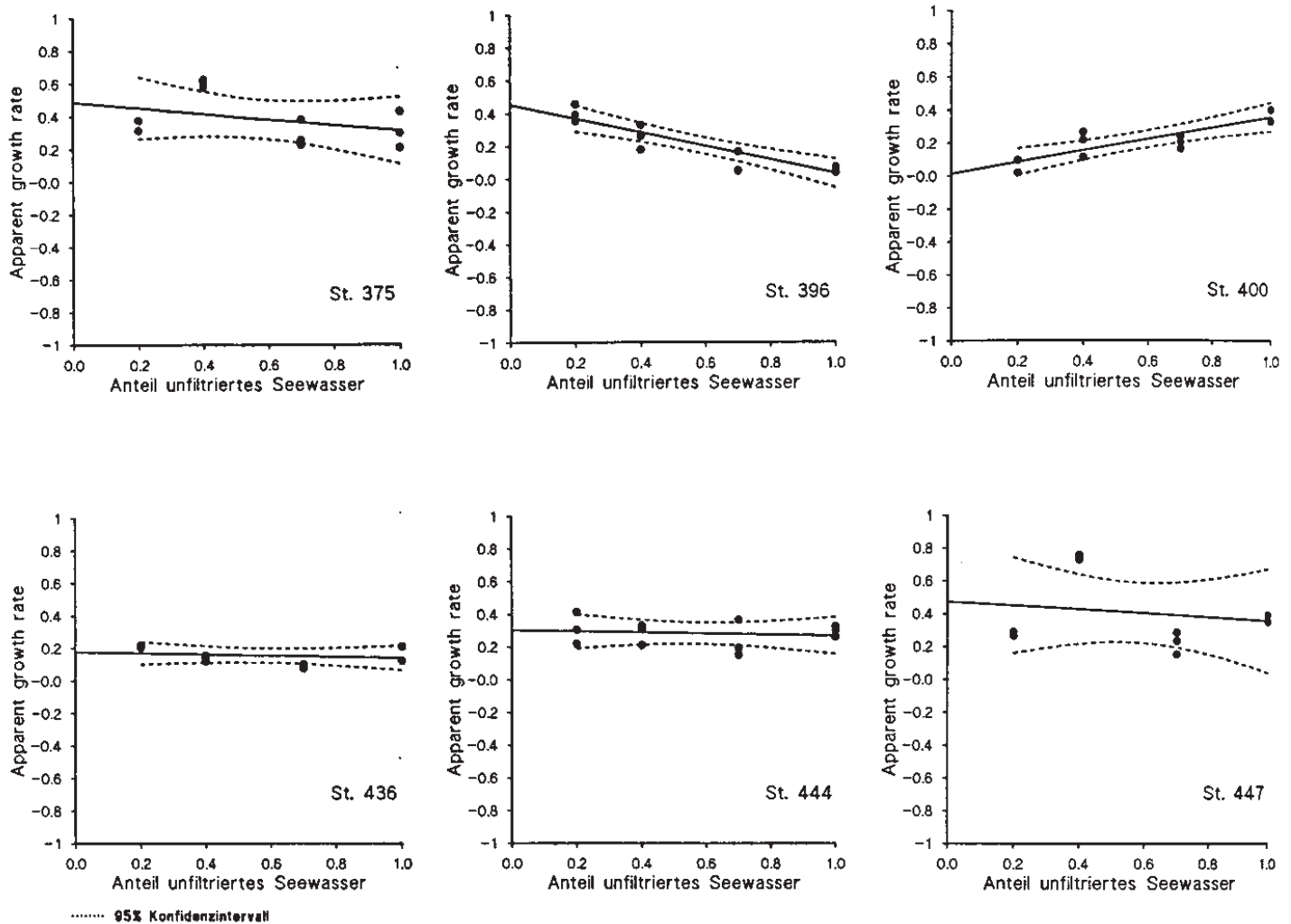


Abb.12: Grafische Darstellung der Ergebnisse der Serial-Dilution-Experimente während M17/1. Dargestellt sind die Linearen Regressionen für die "Apparent phytoplankton growth rate" (Netto-Wachstumsrate des Phytoplanktons) gegenüber dem Anteil an unfiltriertem Seewasser als relatives Maß für die Grazerdichte.

5% - 15% der Oberflächen-Lichtwerte gewonnen (Tab.3.1) wurden und so mit Ausnahme der St. 375 stets dem Bereich des Chl. α -Maximums entstammen. Auf St. 375 lag die Probenahmetiefe etwas oberhalb des Chl. α -Maximums. In Abbildung 12 werden die Ergebnisse entsprechend dem theoretischen Hintergrund (siehe 3.7.1) dieser Experimente in Form einer Linearen Regression der ermittelten "apparent phytoplankton growth rate" (scheinbare Phytoplankton Wachstumsrate) gegenüber dem Anteil an unfiltriertem Seewasser dargestellt. Die beschreibenden Parameter für die resultierenden Linearen Regressionen ($y=k+gx$) und Angaben zur Probennahme sind in Tabelle 3.1 zusammengefaßt, die Tabelle 3.2 beinhaltet eine Aufstellung weiterführender Berechnungen (vergl. 3.7.1) auf der Grundlage der ermittelten Geradencharakteristika (siehe 3.7.1). Die Lineare Regression für das Experiment an der St. 400 weist eine positive Steigung auf und ist somit als "mißglückt" zu bewerten; auf die Darstellung wurde aus Gründen der Vollständigkeit aber nicht verzichtet. In diesem Zusammenhang müssen

SDE mit einer positiven Steigung für die Lineare Regression als "mißglückt" bewertet werden, da sich ein solches Ergebnis aufgrund der Bedingungen, die für die Anwendung dieser Methode vorausgesetzt werden, nicht ergeben kann (siehe 3.7.1). Ein derartiges Ergebnis würde bedeuten, daß der Einfluß des Mikrozooplankton-Grazings auf die zu erwartende Zuwachsrates des Phytoplanktons in den Proben mit der höchsten Verdünnung (= geringste Anzahl an Grazern) höher ist, als in den unverdünnten Proben mit der höchsten Grazerdichte.

Die Phytoplankton-Wachstumsraten, die in den Experimenten als Phytoplankton-Wachstums-Koeffizient "k" (y-Achsenabschnitt) ermittelt werden, ergaben Werte von 0.015 - 0.488, woraus sich Chl.a-Verdoppelungsrates von 0.26 - 0.71 pro Tag berechnen lassen. Der Grazing-Einfluß der Mikrozooplankton-Population auf den Chl.a-Bestand variierte zwischen 0.04 - 0.37 $\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ und entspricht damit ca. 3% - 35% des Chl.a-Bestands, der täglich durch die Freßaktivität des Mikrozooplanktons aufgenommen wurde. Da die Werte für die "aktuelle Produktion", d.h. das Maß an Chl.a-Konzentrationsänderung, das selbst in Gegenwart der Grazer noch erzielt werden kann in allen Experimenten positive Werte ergab (0.01 - 0.59 $\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), werden die Phytoplankton-Bestände durch die Grazingaktivität des Mikrozooplanktons nur mäßig beeinträchtigt. Die Potentielle Produktion, d.h. die Chl.a-Konzentrationsänderung, die ohne Grazeinfluß erzielt werden kann, ergibt ohnehin stets höhere Werte und schwankt zwischen 0.18 - 0.67 $\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

Als Maß für Grazingaktivität einer Mikrozooplankton-Population kann zusätzlich die durchschnittliche Ingestionsrate pro Individuum berechnet werden. Sie ergibt sich aus der Teilung der kumulativen Grazingrate (der Gesamtpopulation) durch die Mikrozooplankton-Abundanz in der Probenahmetiefe. Die Werte liegen zwischen 0.0004 - 0.0170 $\text{ng Chl.}\underline{a} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Tab.3.1: Aufstellung der Parameter der Linearen Regressionen der Serial-Dilution-Experimente der Stationen 375-447 und Angaben zur Probenahmetiefe (g= Grazingkoeffizient, entspricht dem negativem Wert für die Steigung der Geraden; k= Phytoplankton-Wachstumskoeffizient, entspricht dem y-Achsenabschnitt der Geraden ; r= Korrelationskoeffizient für die Lineare Regression).

Station	Probenahmetiefe [m]	Lichttiefe [%]	k \pm StAbw. [d ⁻¹]	g \pm StAbw. [d ⁻¹]	r	n
375	16	15	0.488 \pm 0.144	0.175 \pm 0.137	0.373	12
396	20	10	0.455 \pm 0.061	0.426 \pm 0.058	0.919	12
400	15	10	0.015 \pm 0.062	- 0.346 \pm 0.059	0.881	12
436	21	5	0.177 \pm 0.053	0.040 \pm 0.050	0.247	12
444	18	—	0.302 \pm 0.080	0.033 \pm 0.076	0.134	12
447	15	10	0.475 \pm 0.222	0.120 \pm 0.211	0.177	12

Tab.3.2: Aufstellung der Resultate weiterführender Berechnungen aus den Ergebnissen der Serial-Dilution-Experimente während M17/1.

Station	Start- Konz. Chl.a [µg Chl.a*l ⁻¹]	MZP [Ind.*l ⁻¹]	% Start Konz.Chl.a aufgenommen [d ⁻¹]	Chl.a Verdoppel. [d ⁻¹]	Potentielle Produktion [µg Chl.a*l ⁻¹ *d ⁻¹]	Aktuelle Produktion [µg Chl.a*l ⁻¹ *d ⁻¹]	Chl.a aufgen. [µg Chl.a*l ⁻¹ *d ⁻¹]	Ingest. Rate
375	0.53	3178	16	0.71	0.34	0.20	0.14	0.0018
396	0.67	908	35	0.65	0.38	0.01	0.37	0.0170
400	1.15	2723	—	—	—	—	—	—
436	0.90	4172	4	0.26	0.18	0.14	0.04	0.0004
444	1.91	2269	3	0.43	0.67	0.59	0.08	0.0015
447	0.85	2106	11	0.68	0.51	0.36	0.15	0.0030

Ingestionsrate in [ng Chl.a*Ind.⁻¹*h⁻¹]

4.2 Untersuchungen im Südpolarmeer während der POLARSTERN-Expedition ANT X/6

4.2.1 Hydrographie

Die Untersuchungen während ANT X/6 fanden im atlantischen Sektor des Südpolarmees zwischen 47°S und 60°S statt, wobei mehrere hydrographische Schnitte entlang des 06°W Meridians durchgeführt wurden. In Abbildung 13 sind die Isoliniendiagramme für Temperatur (Abb.13.1) und Salzgehalt (13.2) eines Schnittes dargestellt, der den gesamten Bereich des Untersuchungsgebietes abdeckte. Dabei sind die CTD-Stationen mindestens in einem Abstand von 30 Seemeilen durchgeführt worden. In Regionen mit höherer hydrographischer Variabilität ist der Stationsabstand auf 15 Seemeilen reduziert worden.

Der nördliche Bereich des Untersuchungsgebietes zwischen 47°S und 50°S ist durch eine Abfolge hydrographischer Fronten gekennzeichnet und charakterisiert damit den Bereich der sog. Polar-Fronten-Zone. Die oberflächennahe Temperaturverteilung läßt hier über kurze Bereiche bereits eine mäßige Stratifizierung der oberen 100m der Wassersäule erkennen. Im nördlichsten Bereich sind maximale Oberflächentemperaturen von 4°C bei Durchmischungstiefen von ca. 25m angetroffen worden. Südlich dieses ersten Frontbereiches betrug die Oberflächentemperatur dann nur noch ca. 1.5°C und erstreckte sich bis in eine Tiefe von ca. 80m. Beide Frontenbereiche lassen sich auch durch ihre Salzgehaltsverteilung identifizieren und weisen im nördlichen Bereich mit Salzgehalten von S = 33.85 - 33.9 eine homogene Verteilung bis in eine maximale Tiefe von ca. 90 - 110m auf.

Südlich dieser Frontenzone erstreckt sich der Bereich des Antarktischen Zirkumpolarstromes (AZS). In diesem zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes zeichneten sich die oberen 100-150m der Wassersäule durch eine homogene Verteilung sowohl des Salzgehaltes als auch der

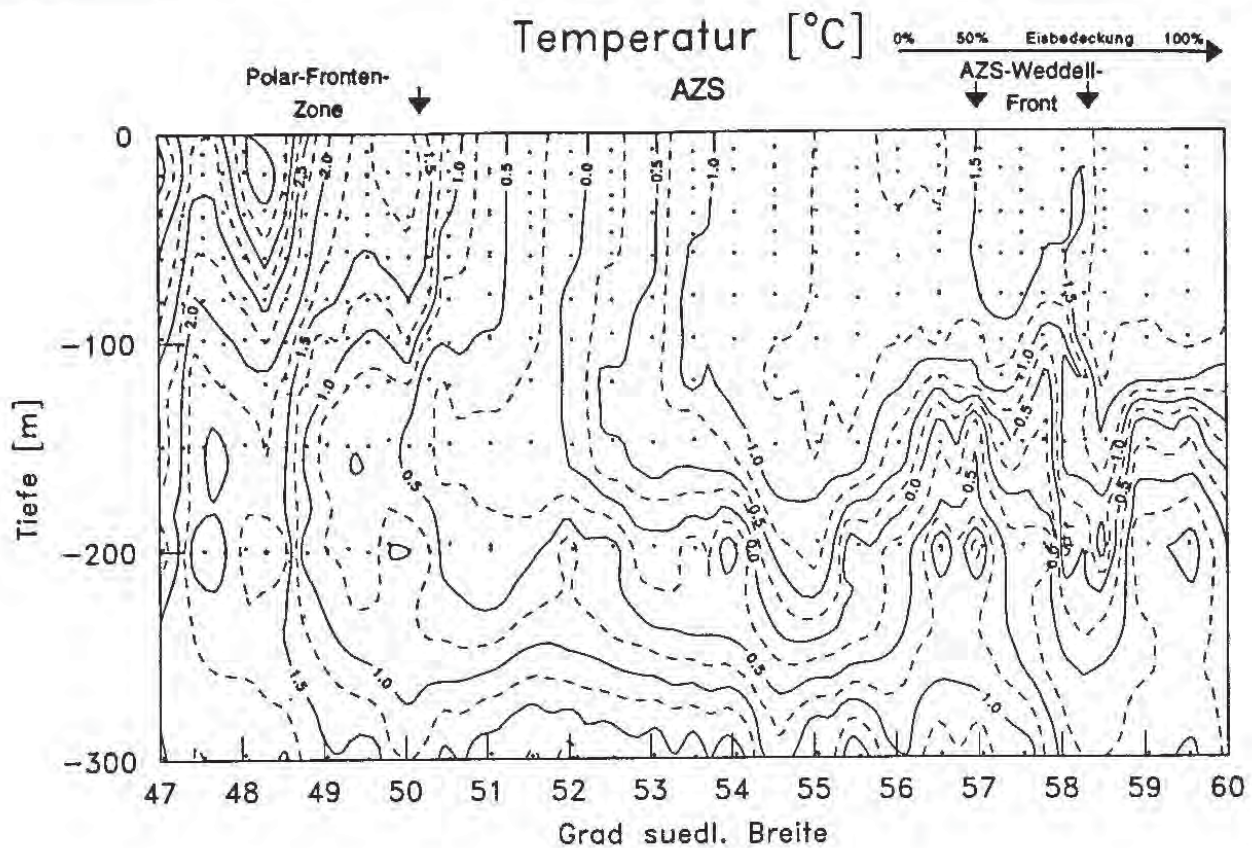


Abb. 13.1: Isolinien-Diagramm der Temperaturverteilung (0-300m) im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 zwischen 47°S und 60°S anhand der Ergebnisse eines hydrographischen Schnittes entlang 06°W.

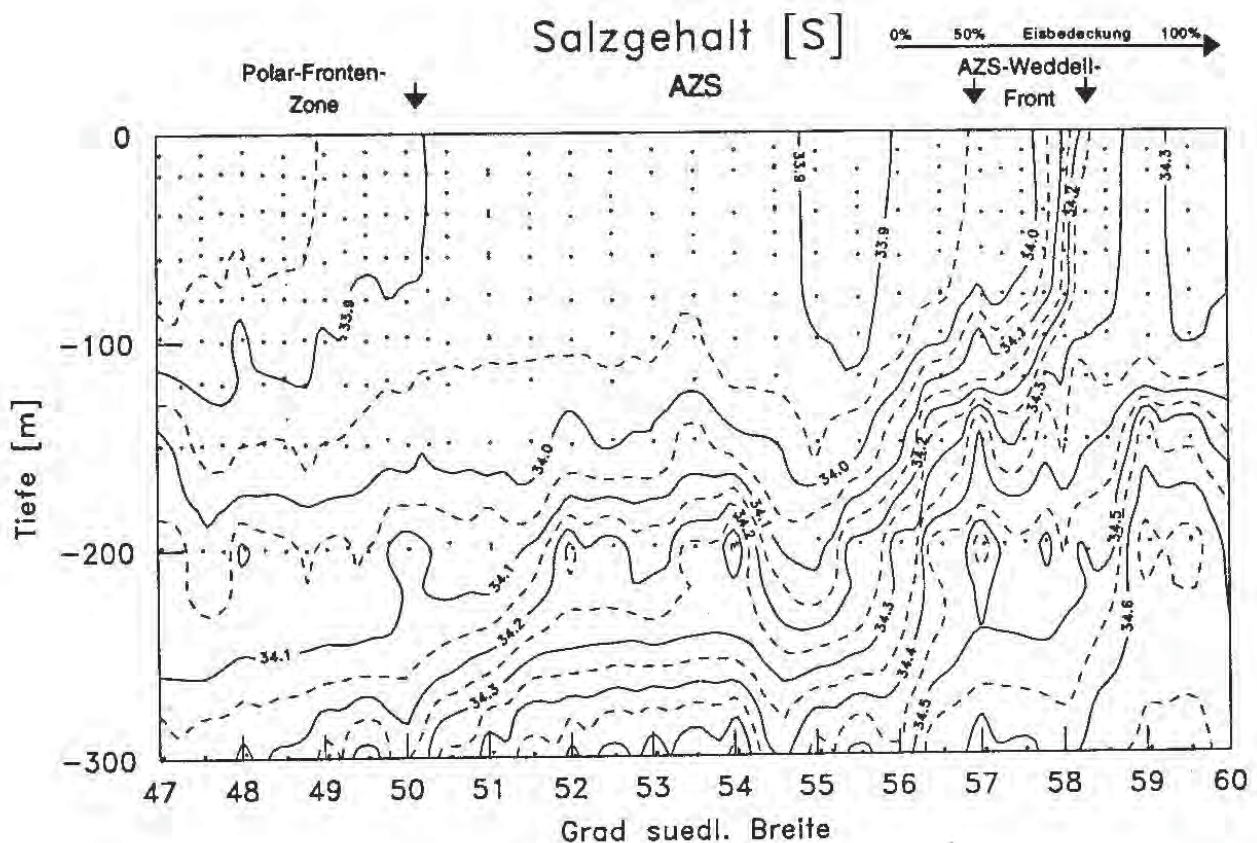


Abb. 13.2: Isolinien-Diagramm der Salzgehaltsverteilung (0-300m) im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 zwischen 47°S und 60°S anhand der Ergebnisse eines hydrographischen Schnittes entlang 06°W.

Temperatur aus. In Richtung Süden fortschreitend zeigte sich lediglich eine graduelle Abnahme der Temperatur von etwa 1.5°C bis -1.5°C , wohingegen der Salzgehalt über weite Bereiche dieser Region bis in eine Tiefe von etwa 120-150m konstante Werte von $S = 33.95$ aufwies. Eine saisonal bedingte Schichtung der Wassersäule konnte in diesem Bereich des Untersuchungsgebietes noch nicht angetroffen werden.

An diese Zone schließt sich südlich von etwa 56°S die Region des saisonal mit Meereis bedeckten Bereiches des AZS an. Die Oberflächentemperaturen liegen unterhalb von -1.2°C und weisen eine homogene Verteilung bis in Tiefen von ca. 100-120m auf. Am nördlichen Rand dieses Bereiches wird diese Struktur zunächst durch eine weitere Front unterbrochen. Zwischen 57° - 58°S ist sowohl anhand der Temperatur- als auch der Salzgehaltsverteilung die Lage der AZS-Weddell-Front zu erkennen. In diesem Bereich waren Oberflächensalzgehalte von $S = 34.0 - 34.3$ anzutreffen, die dann in Richtung Süden homogen bis etwa in eine Tiefe von 80-100m über die Wassersäule verteilt waren.

4.2.2 Nährstoffe

Aus den Darstellungen der Isoliniendiagramme für die Nährstoffe Silikat, Nitrat, Phosphat und Ammonium (Abb. 14.1-4) lassen sich die aus den hydrographischen Parametern abgeleiteten Zonierungen des Untersuchungsgebietes ebenfalls erkennen.

Innerhalb der Polar-Fronten-Zone im Norden des Untersuchungsgebietes, waren durch die flache Stratifizierung (ca. 25m) in der oberflächennahen Wassersäule bereits die Grundvoraussetzungen für eine Phytoplanktonentwicklung gegeben. In diesem Bereich konnte für alle anorg. Nährstoffe bereits eine deutliche Abnahme der Oberflächen-Konzentrationen gegenüber den Tiefenwasserwerten verzeichnet werden. Besonders ausgeprägt war diese Dezimierung für Silikat zu beobachten, wo an der Oberfläche nur ca. 10-50% der Konzentrationen (ca. $3-30 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) gemessen wurden, die in 300m Tiefe analysiert wurden ($30-60 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$). Zusammen mit den Konzentrationen der anderen anorg. Nährstoffe, deren oberflächennahen Konzentrationen bei $20-26 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ Nitrat und $1.2-1.8 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ Phosphat lagen, sind die Nährstoffe auch in diesem Gebiet im Untersuchungszeitraum nicht als limitierend für das Phytoplankton-Wachstum anzusehen. Aufgrund der verhältnismäßig höheren Abnahme an Silikat ist anzunehmen, daß sich die Phytoplankton-Population vornehmlich aus den Silikat-Schalen-bildenden Diatomeen zusammensetzte.

Die Ammonium-Konzentrationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone erreichten im Tiefenbereich zwischen 60-80m Maximalwerte mit $0.4-0.7 \mu\text{mol NH}_4\cdot\text{l}^{-1}$. An der Oberfläche wurden Konzentrationen von $0.1-0.4 \mu\text{mol NH}_4\cdot\text{l}^{-1}$ erreicht. Sowohl die hydrographischen Begebenheiten und die zu verzeichnenden deutlich geringeren Nährstoff-Konzentrationen im Oberflächenbereich der Polar-Fronten-Zone als auch die relativ hohen Ammonium-Konzentrationen als Maß für heterotrophe Stoffwechselaktivität und Remineralisierungsprozesse, können als Indiz dafür gewertet werden, daß sich in diesem Teil

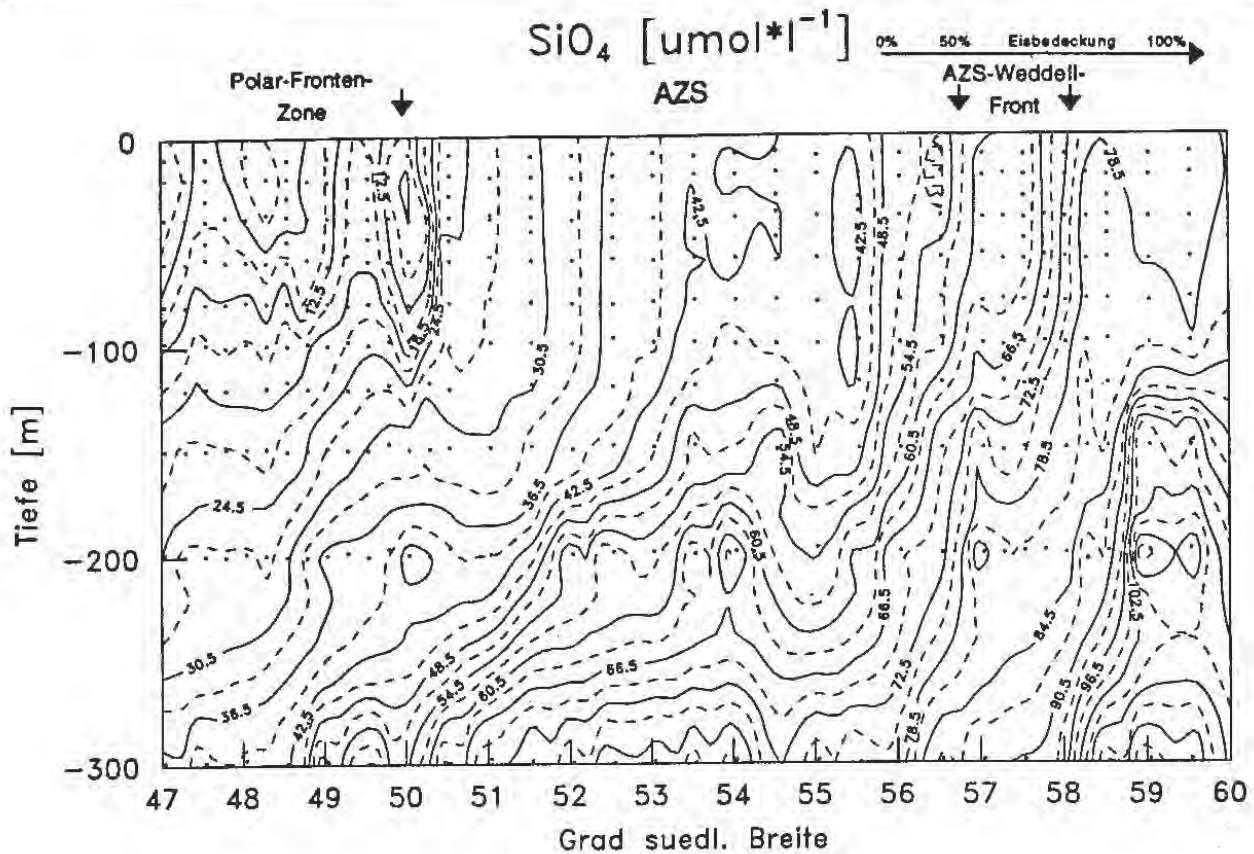


Abb.14.1: Isolinien-Diagramm der Silikatverteilung (0-300m) im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 zwischen 47°S und 60°S anhand der Ergebnisse eines hydrographischen Schnittes entlang 06°W.

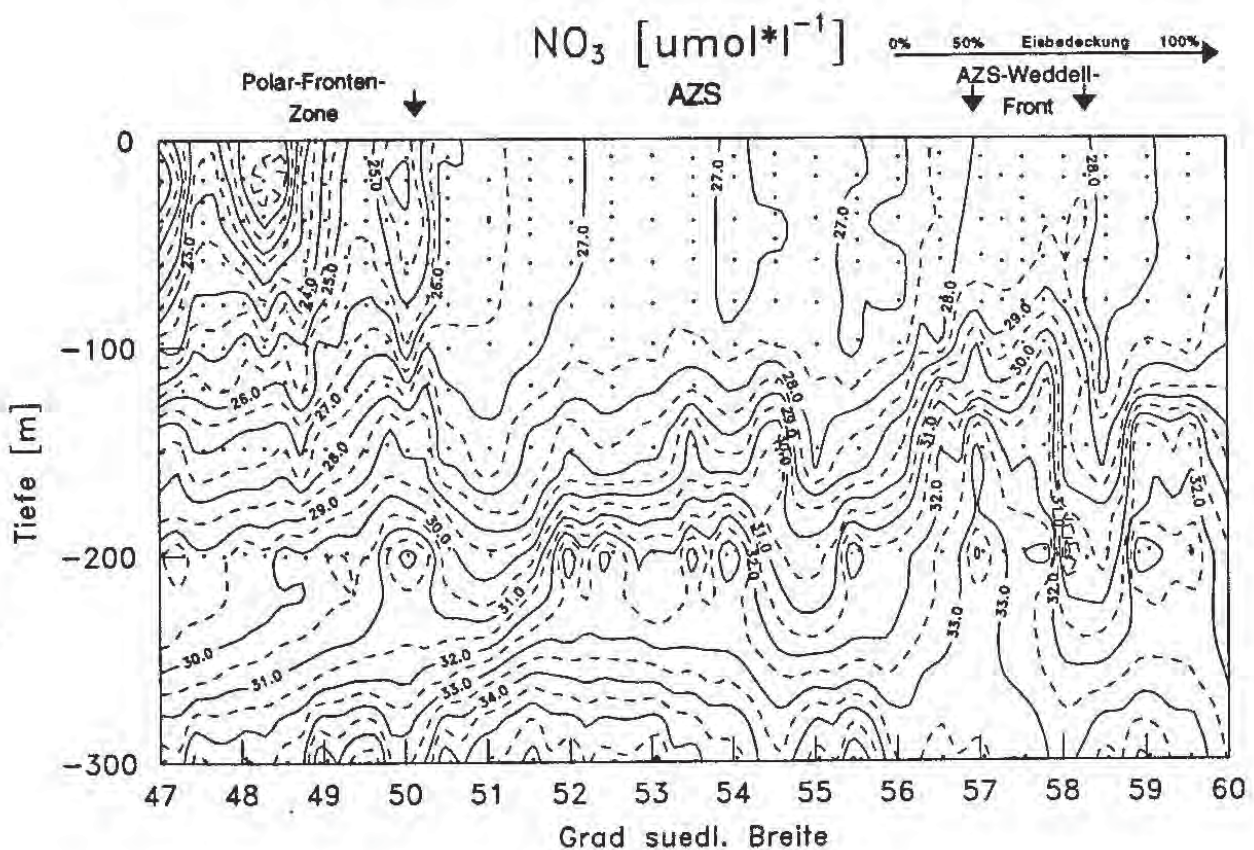


Abb. 14.2: Isolinien-Diagramm der Nitratverteilung (0-300m) im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 zwischen 47°S und 60°S anhand der Ergebnisse eines hydrographischen Schnittes entlang 06°W.

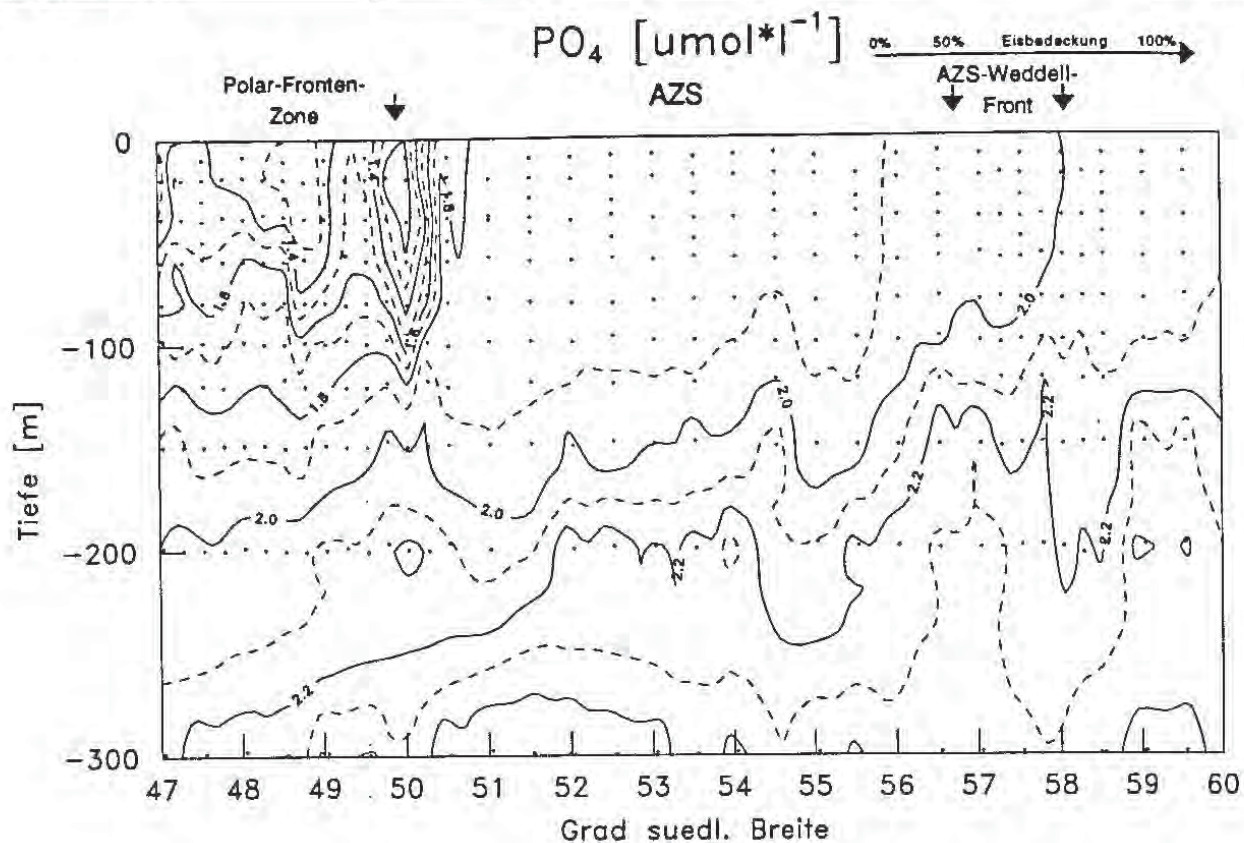


Abb. 14.3: Isolinien-Diagramm der Phosphatverteilung (0-300m) im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 zwischen 47°S und 60°S anhand der Ergebnisse eines hydrographischen Schnittes entlang 06°W.

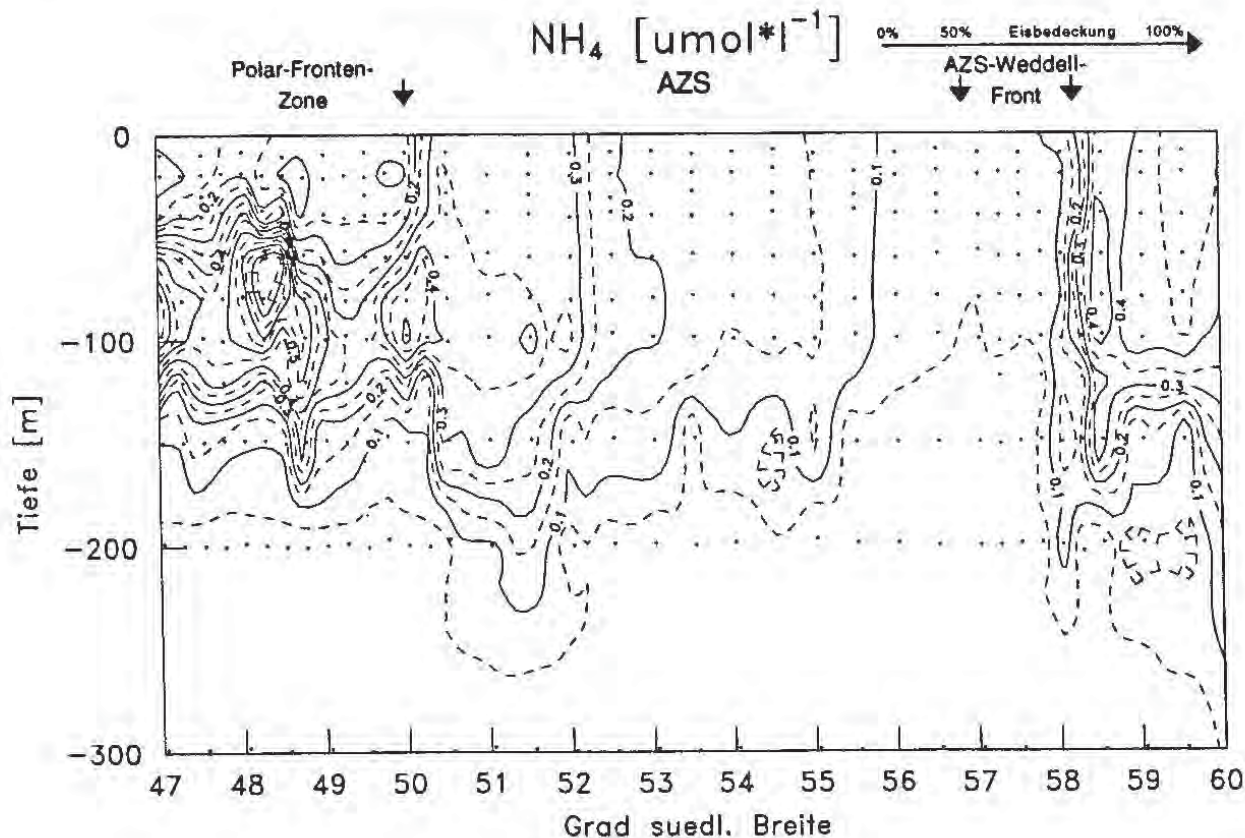


Abb. 14.4: Isolinien-Diagramm der Ammoniumverteilung (0-300m) im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 zwischen 47°S und 60°S anhand der Ergebnisse eines hydrographischen Schnittes entlang 06°W.

des Untersuchungsgebietes bereits eine Plankton-Gemeinschaft mit allen trophischen Vernetzungen entwickelt hatte. Es bleibt darauf hinzuweisen, daß die dargestellte Nährstoffsituation im Bereich der Polar-Fronten-Zone am Ende des Untersuchungszeitraumes angetroffen wurde. Vorherige Messungen im gleichen Gebiet wiesen die oberflächennahe verstärkte Abnahme der Nährsalze noch nicht auf.

Der sich im Süden anschließende Bereich des AZS zeichnete sich durch eine weitestgehend homogene Verteilung der Nährstoffe aus. Eine Schichtung und eine damit verbundene deutliche Nährstoffabnahme durch eine Phytoplankton-Entwicklung kann aus den Isolinien-Diagrammen der dargestellten Nährstoffe nicht abgeleitet werden. In Richtung Süden fortschreitend sind in den oberflächennahen Wasserschichten für alle anorg. Nährstoffe zunehmend höhere Konzentrationen anzutreffen, die sich homogen über die Tiefe verteilen und so Durchmischungstiefen von etwa 100m deutlich machen. Die Oberflächenkonzentrationen erhöhen sich von Nord nach Süd für Silikat von ca. $25 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ auf $78 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, für Nitrat von $26 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ auf ca. $28 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ und für Phosphat von $1.8 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ auf $2.1 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Diese graduelle Erhöhung der oberflächennahen anorg. Nährstoff-Konzentrationen wird durch eine gleichzeitige Abnahme der Ammonium-Konzentrationen an der Oberfläche begleitet, die von ca. $0.3 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ im Norden auf $0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ im Süden absinken.

Im Bereich des meereisbedeckten Teils des AZS ist auch anhand der Nährstoffprofile die Lage der AZS-Weddell-Front auszumachen (zwischen 57°S - 59°S). Im Untereis-Bereich werden für alle anorg. Nährstoffe bei Durchmischungstiefen von ca. 100m die höchsten Konzentrationen innerhalb des gesamten Untersuchungsgebietes angetroffen (ca. $78.5 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ Silikat, 28 - $28.5 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ Nitrat, ca. $2.1 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ Phosphat). Auffällig für diese Region sind die relativ hohen Ammoniumkonzentrationen unter dem Eis. Es werden hier Konzentrationen von $0.4 \mu\text{mol} \text{NH}_4 \cdot \text{l}^{-1}$ erreicht. Diese Konzentrationen werden auf die Stoffwechselaktivität von Euphausiaceae (vornehmlich Krill, *Euphasia superba*) und Protozoen (GOEYENS *et al.* 1991) zurückgeführt, die unter dem Eis leben und sich von der Unter-Eis-Flora ernähren.

4.2.3 Biomasseparameter und Primärproduktion

Aus der Darstellung der hydrographischen Struktur und der Nährstoffverteilung im Untersuchungsgebiet ging hervor, daß sich die untersuchte Region in drei große Zonen gliedern läßt: Die im Norden gelegene Polar-Fronten-Zone, den meereisfreien und den meereisbedeckten Bereich des Antarktischen Zirkumpolarstroms (AZS). Gemäß dieser Gliederung ergibt sich für die analysierten Phytoplankton-Biomasse-Parameter Chl.*a* und Phytoplankton-Kohlenstoff (PPC) folgendes Bild (Abb.15.1 und 15.2):

Die im Bereich der Polar-Fronten-Zone gelegenen Stationen 877, 903, 960 (alle 49°S 06°W) und 969 (47°S 06°W), weisen die höchsten Werte für die Phytoplankton-Biomasse-Parameter auf. Für die Stationen bei 49°S (diese Position wurde insgesamt dreimal beprobt) ergibt sich

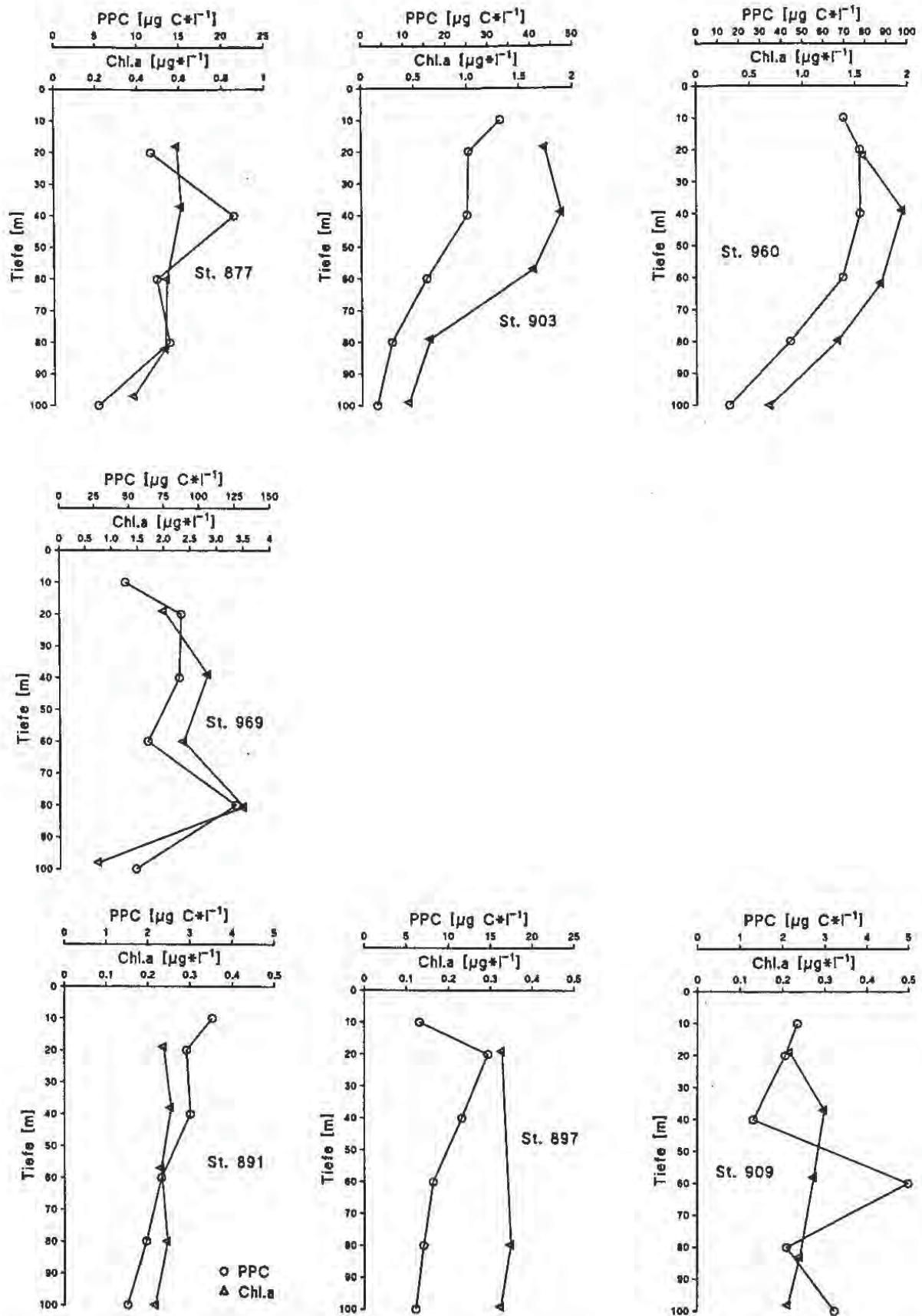


Abb.15.1: Vertikalprofile der Phytoplankton-Biomasse-Parameter Chl.a und PPC. Die Ergebnisse der St. 877, 903, 960 und 969 beschreiben die Phytoplankton-Biomasse im Bereich der Polar-Fronten-Zone. Die Phytoplankton-Biomasse im eisfreien Bereich des AZS wird durch die Ergebnisse der St. 891, 897, 909, 945, 949 und 953 dargestellt, während eine Beschreibung der Phytoplankton-Biomasse im eisbedeckten Bereich des AZS durch die Ergebnisse der St. 870, 886, 886/2, 915, 918, und 930 erfolgt.

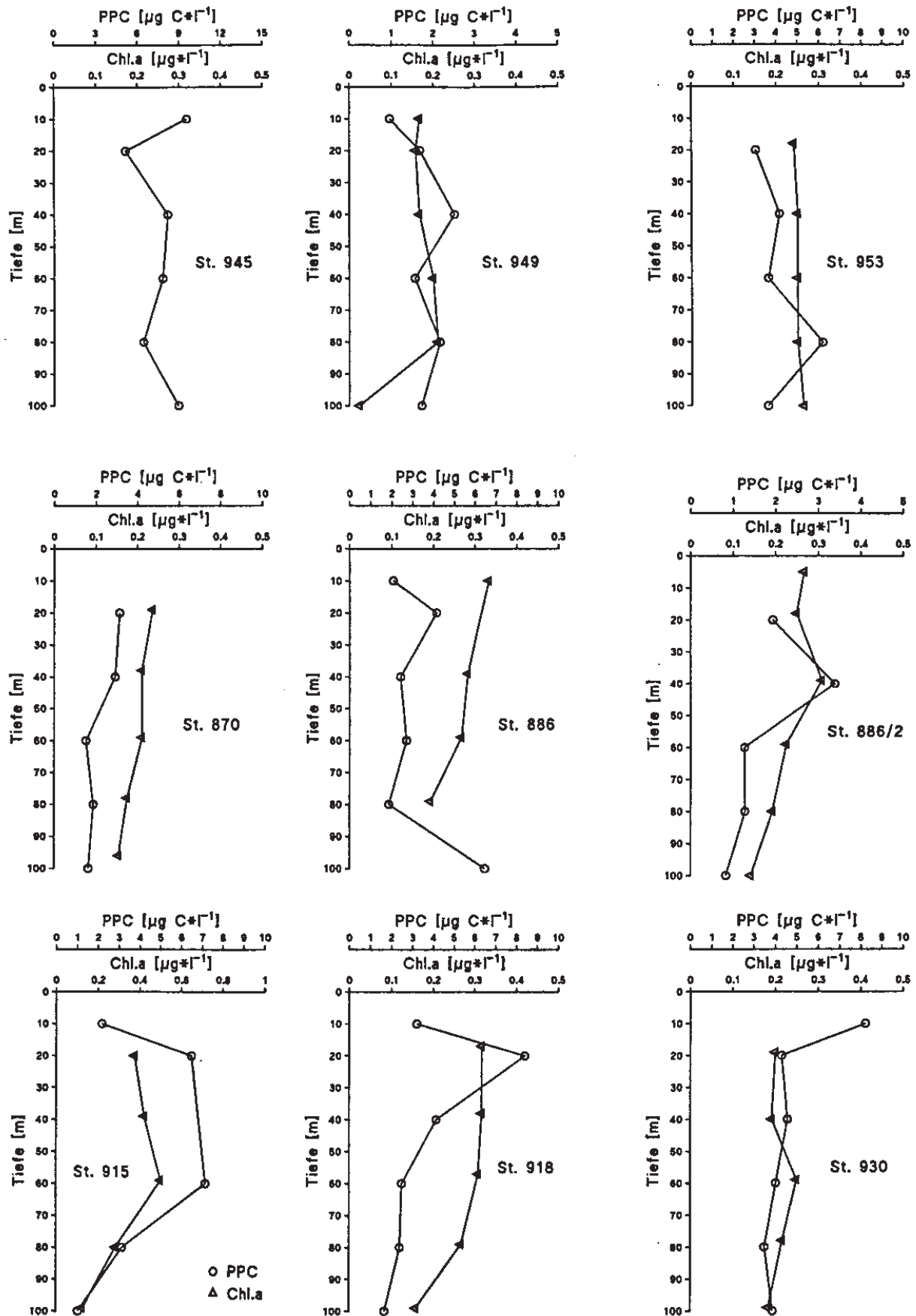


Abb. 15.2: Vertikalprofile der Phytoplankton-Biomasse-Parameter Chl.a und PPC. Die Ergebnisse der St. 877, 903, 960 und 969 beschreiben die Phytoplankton-Biomasse im Bereich der Polar-Fronten-Zone. Die Phytoplankton-Biomasse im eisfreien Bereich des AZS wird durch die Ergebnisse der St. 891, 897, 909, 945, 949 und 953 dargestellt, während eine Beschreibung der Phytoplankton-Biomasse im eisbedeckten Bereich des AZS durch die Ergebnisse der St. 870, 886, 886/2, 915, 918, und 930 erfolgt.

über die Zeit eine stetige Zunahme der Biomassewerte. Die über 100m Wassersäule integrierten Werte für Chl.a und PPC stiegen von 53.84 mg Chl.a*m⁻² bzw. 1351.4 mg PPC*m⁻² auf 154.86 mg Chl.a*m⁻² bzw. 6153.35 mg PPC*m⁻². Dabei war das Chl.a anfänglich (St.877) noch einheitlich mit Werten um 0.5 µg Chl.a*l⁻¹ über die Wassersäule verteilt, um später (St.903 u. 960) zusammen mit den PPC-Profilen ein ausgeprägtes Tiefen-Maximum mit Höchstwerten von ca. 2 µg Chl.a*l⁻¹ in etwa 40m Tiefe auszubilden. Inwiefern es sich bei diesem Biomasseanstieg um eine saisonale Entwicklung handelte bzw. advektive Prozesse eine Rolle spielten, kann aus dem vorliegenden Datenmaterial bzw. bedingt durch das Expeditionskonzept (hydrographische Schnitte) nicht abgeleitet werden. Aus den Utermöhl-Proben ergab sich für die Phytoplankton-Biomasse (PPC) dieser Stationen eine deutliche Dominanz für die Diatomeen. Diese Dominanz der Diatomeen ist vornehmlich auf das Vorkommen von *Fragilariopsis* (syn. *Nitzschia*) *keruelensis* und Vertreter der Gattung *Nitzschia* zurückzuführen.

Die höchsten Phytoplankton-Biomasse-Werte des Untersuchungsgebietes sind für die Population der St. 969 ermittelt worden. Hier sind (über 100m Wassersäule integriert) für Chl.a und PPC 241.80 mg Chl.a*m⁻² bzw. 8070.45 mg PPC*m⁻² gemessen worden. Beide Profile weisen ein sehr tief gelegenes Maximum mit Werten von > 3 µg Chl.a*l⁻¹ und ca. 125 µg PPC*l⁻¹ in etwa 80m Tiefe auf. Auch an dieser Station im Bereich der Polar-Fronten-Zone wird die Phytoplankton-Population sowohl hinsichtlich der Biomasse als auch in Bezug auf die Abundanz durch Diatomeen dominiert. Als wichtigste Vertreter sind hier wiederum *Fragilariopsis kerguelensis* und *Nitzschia* spp. zu nennen, die durch Vertreter der Gattungen *Corethron* und *Chaetoceros* ergänzt werden.

Die Werte für die Phytoplankton-Biomasse-Parameter der Stationen im Bereich des AZS liegen deutlich unterhalb der Werte der Polar-Front-Stationen. Unterschiede in den Werten für die eisfreien Stationen bzw. für die unterschiedlich stark eisbedeckten Stationen (südl. ca. 56°S, im folgenden als Eis-Stationen angesprochen) können jedoch nicht festgestellt werden. An einzelnen Stationen ergeben sich andeutungsweise Strukturen in den Profilverläufen (z.B. St. 886/2, und St.915), wohingegen sich bei den meisten anderen Stationen eine einheitliche Verteilung der Phytoplankton-Biomasse bei sehr geringen Werten über die Tiefe ergibt. In einigen Fällen zeigen sich Unterschiede in den Profilverläufen der beiden Phytoplankton-Biomasse-Parameter, die zum einen darauf zurückzuführen sind, daß bei der Chl.a-Analyse Phytoplankton-Größenklassen mit eingehen, die bei der Utermöhl-Auswertung (PPC) nicht quantitativ miterfaßt werden (sog. µ-Flagellaten), zum anderen sind die absoluten Werte oft so gering (oft < 0.3 µg Chl.a*l⁻¹), daß sich Unterschiede in der Probenahme, -aufbereitung und Messung verhältnismäßig stärker ausprägen als bei höheren Konzentrationen. Innerhalb der eisfreien Stationen schwanken die über 100m Wassersäule integrierten Biomasse-Werte zwischen 20.94 mg Chl.a*m⁻² und 33.67 mg Chl.a*m⁻² bzw. 181.4 mg PPC*m⁻² und 916.8 mg PPC*m⁻², wobei sich in dieser Gruppe die St. 897 und 945 mit Werten von 916.8 mg

PPC*m⁻² bzw. 759.35 mg PPC*m⁻² etwas herausheben (restliche Stationen alle < 405.7 mg PPC*m⁻²). Die Stationen 891, 909 und 945 (alle 55°S) zeigen einen Trend in der zeitlichen Entwicklung. An dieser Position steigen die PPC-Werte von 257.55 µg*l⁻¹ auf 759.35 µg*l⁻¹ an. Es wurde oben bereits darauf hingewiesen, daß dieser Biomasseanstieg nicht zweifelsfrei einer saisonal bedingten Entwicklung zugeschrieben werden kann.

Die Phytoplankton-Populationen im eisfreien Bereich des AZS werden am Anfang des Untersuchungszeitraumes in Bezug auf die Biomasse (PPC aus der Utermöhl-Auswertung) und auf die Zellzahlen durch Dinoflagellaten der Gattung *Gymnodinium* (nicht selten ergänzt durch *Oxytoxum* spp.) dominiert. Zum Ende des Untersuchungszeitraumes nimmt der Einfluß durch Diatomeen (*Fragilariopsis kerguelensis*, *Nitzschia* spp., *Chaetoceros* spp., *Thalassiosira* spp. und *Rhizosolenia* spp.) und in abgeschwächteren Umfang auch durch Cryptophyceen und Chrysophyceen (*Diestephanus* spp.) zu.

Die Phytoplankton-Biomasse der Eis-Stationen weisen Werte zwischen 18.85 mg Chl._a*m⁻² bis 36.63 mg Chl._a*m⁻² bzw. 185.1 mg PPC*m⁻² und 482.3 mg PPC*m⁻² auf. Innerhalb dieser Stationen ergeben sich die höchsten Biomasse-Werte für die Population der St. 915, deren relativ ausgeprägten Tiefenprofile der Phytoplankton-Biomasseparameter durch die hydrographische Struktur an dieser Station, die sich im Bereich der AZS-Weddell-Front befindet, erklärt werden können. Ähnlich wie im eisfreien Bereich des AZS werden die Phytoplankton-Biomasse (PPC) und die Abundanz bei den Eis-Stationen zunächst auch durch die Dinoflagellaten (*Gymnodinium* spp.) dominiert. Später im Untersuchungszeitraum wechseln diese Dominanzen aber auf die Diatomeen über. Die wichtigsten Vertreter sind dann *Fragilariopsis kerguelensis*, *Nitzschia* spp. und weniger häufig *Thalassiosira* spp.

Für die POC-Auswertungen (Abb. 16) lagen nur Proben einzelner Stationen aus den drei Regionen des Untersuchungsgebietes vor. Für den Bereich der Polar-Fronten-Zone sind dies die St. 903, 960 und 969. Die über die Beprobungstiefe (0-100m) integrierten Konzentrationen an partikulärem organischen Kohlenstoff (POC) erreichen Werte von 14.77 g POC*m⁻² bis 23.02 g POC*m⁻² und setzen damit auch für diesen Parameter den Trend fort, daß die höchsten biogenen Stoff-Konzentrationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone zu verzeichnen waren. Das Tiefenprofil der St. 903 verdeutlicht eine homogene Durchmischung bis in eine Tiefe von 60m, unterhalb dieser Tiefe fallen die Werte deutlich ab. An der St. 960 liegt der höchste POC-Wert in 20m Tiefe und die Konzentrationen werden unterhalb dieser Tiefe kontinuierlich geringer. Das Tiefenprofil der St. 969 beinhaltet nur Werte ab einer Tiefe von 40m, die zunächst stetig geringer werden, um dann in einer Tiefe von 100m wieder leicht anzusteigen.

Die eisfreien Regionen des AZS können hinsichtlich der POC-Verteilung nur durch die St. 909, 949 und 953 beschrieben werden. In diesem Bereich des Untersuchungsgebietes lagen die POC-Konzentrationen deutlich unterhalb der Werte im Bereich der Polar-Fronten-Zone, zeigten aber keine auffälligen Unterschiede gegenüber den Eis-Stationen im Bereich des AZS. Die oberen 100m der Wassersäule wiesen POC-Konzentrationen von 5.22 g*m⁻² bis 9.47 g*m⁻²

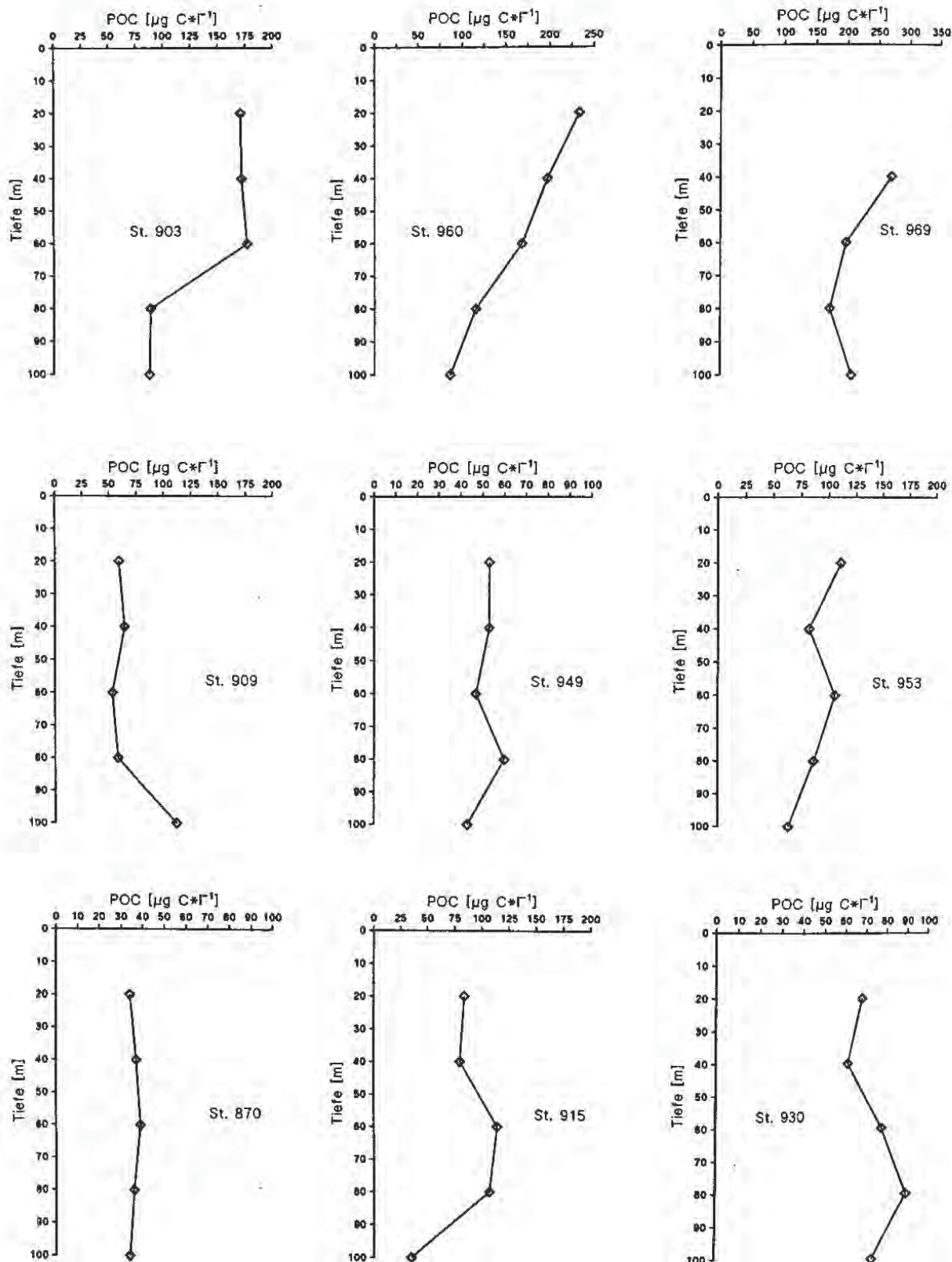


Abb. 16: Tiefenprofile der POC-Konzentrationen der oberen 100m Wassersäule im Untersuchungsgebiet von ANT X/6. Die St. 903, 960 und 969 liegen im Bereich der Polar-Fronten-Zone, die eisfreien Bereiche des AZS werden durch die Ergebnisse der St. 909, 949 und 953 beschrieben. Die Tiefenverteilung des POC im eisbedeckten Bereich des AZS erfolgt anhand der Ergebnisse der St. 870, 915 und 930.

auf. Die Profilverläufe der drei Stationen zeigen keine markanten POC-Akkumulationen in bestimmten Tiefenbereichen, sondern verdeutlichen nahezu einheitliche Konzentrationen über die Tiefe. Wie dies bereits auch durch andere Parameter angezeigt wurde, lassen sich daraus große Durchmischungstiefen in dieser Region des Untersuchungsgebietes ableiten.

Eine ähnliche Situation läßt sich für den eisbedeckten Bereich des AZS feststellen. Dort schwanken die POC-Konzentrationen in den oberen 100m der Wassersäule zwischen $3.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ und $8.93 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. Der Profilverlauf der St. 870 zeigt eine einheitliche Verteilung der POC-Konzentrationen mit der Tiefe. Weiter südlich lassen die Profilverläufe der St. 915 und 930 leichte POC-Akkumulationen in Tiefen zwischen 60-80m erkennen. Zumindest für die St. 930 ergibt sich damit eine Parallele zum Profilverlauf der Mikrozooplankton-Bestands-Parameter (vergl. Abb 18.1 und Abb.18.2), die ebenfalls in 80m Tiefe ein Maximum aufweisen.

Wie für die Phytoplankton-Biomasse-Parameter (und POC) bereits dargestellt, können auch die Ergebnisse der Primärproduktions-Messungen (Abb.17.1 und 17.2) entsprechend regional eingruppiert werden. Wiederum weisen die Stationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone (St. 877, 903, 960 und 969) die höchsten Werte auf. Jeweils integriert über die produktive Zone bewegen sich die gemessenen Raten zwischen $166 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ und $2892 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Auch hier zeigt sich für die Stationen bei 49°S (St. 877, 903 und 960), daß die Primärproduktions-Raten mit der Zeit von anfangs $166 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ auf $2892 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ansteigen. In der Tiefenverteilung lag das Produktionsmaximum bei St. 877 an der Oberfläche, wohingegen bei St. 903 ein zweites Maximum in 20m Tiefe verzeichnet werden konnte und bei St. 960 die oberen 15m etwa die gleichen Werte aufwiesen, um dann unterhalb dieser Tiefe kontinuierlich abzunehmen. Bei 47°S (St. 969) lag die über die produktive Zone integrierte Primärproduktion bei $1074 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, wobei dessen Maximum in einer Tiefe von 30m festgestellt wurde. Für alle Stationen in diesem Bereich kann eine deutliche Diskrepanz in den Profilverläufen für die Phytoplankton-Biomasse-Parameter und den Primärproduktions-Profilen festgestellt werden. Die Produktionsmaxima liegen stets oberhalb der Biomassemaxima, was darauf hindeutet, daß in oberflächennähe kleine, aber relativ schneller wachsende Teilpopulationen vorhanden waren.

Tab. 4: Aufstellung der Werte der Tiefenausdehnung der Euphotischen Zone ($\geq 1 \%$ der Oberflächen-Lichtwerte) und der Eisbedeckung für die Stationen im Südpolarmeer.

Station	870	877	886	886/2	891	897	903	909	915	918	930	945	949	953	960	969
Euphot. Zone	70	60	105	n.b.	137	90	60	129	95	108	n.b.	113	102	84	63	59
Eisbedeckg.	95	0	50	n.b.	0	0	0	0	70	60	n.b.	0	0	0	0	0

Tiefe der Euphotischen Zone in [m]

Eisbedeckung in [%]

n.b. = nicht bekannt

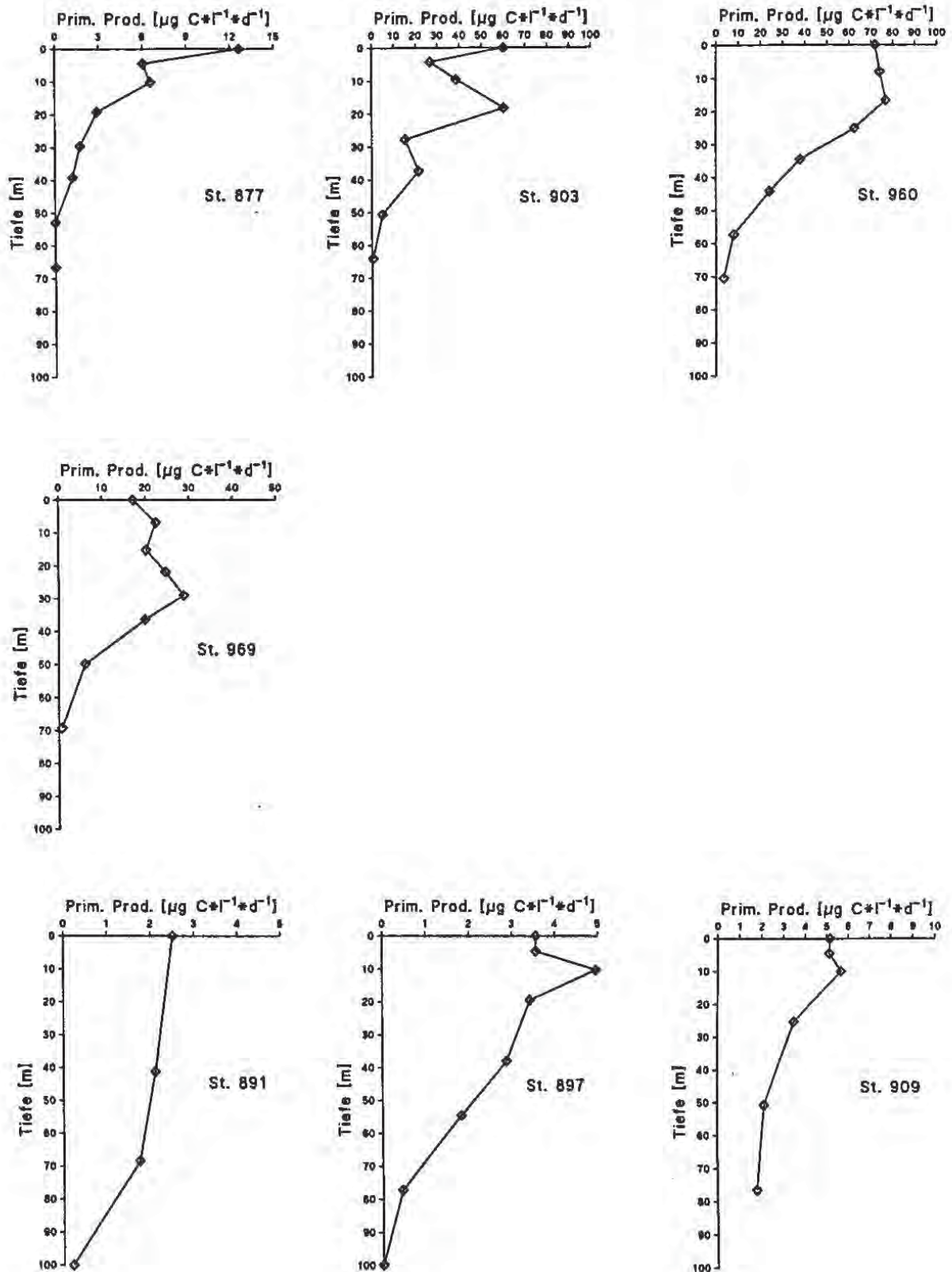


Abb. 17.1: Vertikalprofile für die Ergebnisse der Primärproduktions-Messungen im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 (Polar-Fronten-Zone: St. 877, 903, 960, 969; eisfreier Bereich des AZS: St. 891, 897, 909, 945, 949, 953; eisbedeckter Bereich des AZS: 870, 886, 915 und 918).

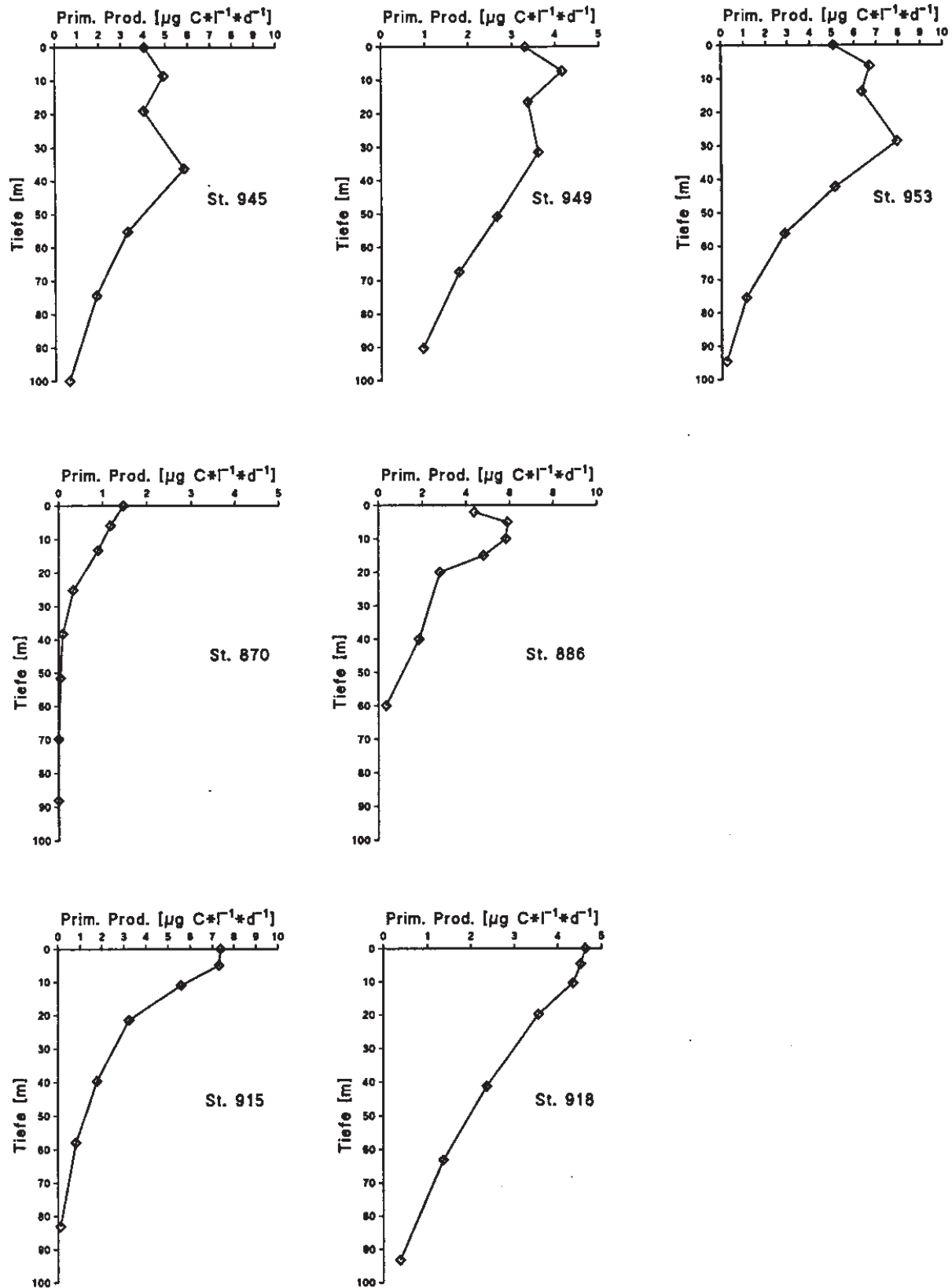


Abb. 17.2: Vertikalprofile für die Ergebnisse der Primärproduktions-Messungen im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 (Polar-Fronten-Zone: St. 877, 903, 960, 969; eisfreier Bereich des AZS: St. 891, 897, 909, 945, 949, 953; eisbedeckter Bereich des AZS: 870, 886, 915 und 918).

In Bezug auf die Primärproduktions-Raten lassen sich für die Stationen im eisfreien und im eisbedeckten Bereich des AZS leichte Unterschiede feststellen. Die Stationen im eisfreien Bereich des AZS weisen durchschnittlich leicht höhere Produktionsraten auf. Die ermittelten Werte der über die produktive Schicht (bzw. 100m Wassersäule) integrierten Produktionsraten liegen zwischen $182 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ und $388 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ und damit bereits deutlich unterhalb der Werte der Polar-Fronten-Zone. Die Primärproduktions-Rate der Station 891 betrug $182 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Die Werte für die Stationen 909 und 945 (zusammen mit St. 891 alle bei 55°S) erhöhten sich auf $220 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ bzw. $339 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (vergl. Phytoplankton-Biomasse dieser Stationen). Mit Ausnahme der Station 891 weisen alle Stationen im eisfreien Bereich des AZS ihr Maximum in der Produktion unterhalb der Oberfläche in Tiefen zwischen ca. 10-40m auf, und liegen damit meist oberhalb der Tiefe mit der höchsten Biomasse-Akkumulation.

Für die Stationen im eisbedeckten Bereich des AZS liegen die gemessenen Primärproduktions-Raten durchschnittlich unterhalb der Werte der eisfreien Zone des AZS. Dabei ergab sich für die Station 870 mit $27 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ die geringste Produktionsrate innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Die maximale Produktions-Rate für die Eis-Stationen im Bereich des AZS konnte für die St. 918 mit $216 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ gemessen werden. Die Lage der Produktionsmaxima wurde im Tiefenprofil (mit Ausnahme der St. 886) stets an der Oberfläche registriert. Es ergibt sich somit auch für diese Region des Untersuchungsgebietes eine Diskrepanz zwischen der Tiefenlage des Primärproduktions-Maximums und der Tiefe des Phytoplankton-Biomasse-Maximums.

In Bezug auf die Primärproduktions-Leistung dürfte der auffälligste Unterschied beider Regionen des AZS (die Phytoplankton-Biomasse ist annähernd gleich, die Temperaturdifferenz beträgt maximal 3°C , Nährstoffe sind ausreichend vorhanden) die für die Photosynthese zur Verfügung stehende Lichtmenge und Lichtverteilung in der Wassersäule sein. Bedingt durch die Eisbedeckung und die Schneeeauflage ist die Beleuchtung unter Eis deutlich schlechter als im eisfreien Wasser. Die Produktion des Phytoplanktons in diesen Bereichen ist daher vermutlich licht-limitiert.

4.2.4 Abundanz- und Biomasseverteilung und taxonomische Zusammensetzung des Mikrozooplanktons

Zur Untersuchung der Mikrozooplankton-Bestände im Untersuchungsgebiet wurden mikroskopische Auswertungen nach der Utermöhl-Methode durchgeführt. Die Ergebnisse für die Abundanz und die Biomasse des Mikrozooplanktons sind in Abbildung 18.1 und 18.2 dargestellt. Für den nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes im Bereich der Polar-Fronten-Zone zwischen 47°S und 50°S (St. 877, 903, 960 und 969) ergeben sich integriert über die Beprobungstiefe (0-100m) für die Biomasse des Mikrozooplanktons Werte von $195 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2}$ bis $1341.55 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2}$. Dabei zeigen die Stationen 877, 903 und 960 (alle 47°S) eine Zunahme

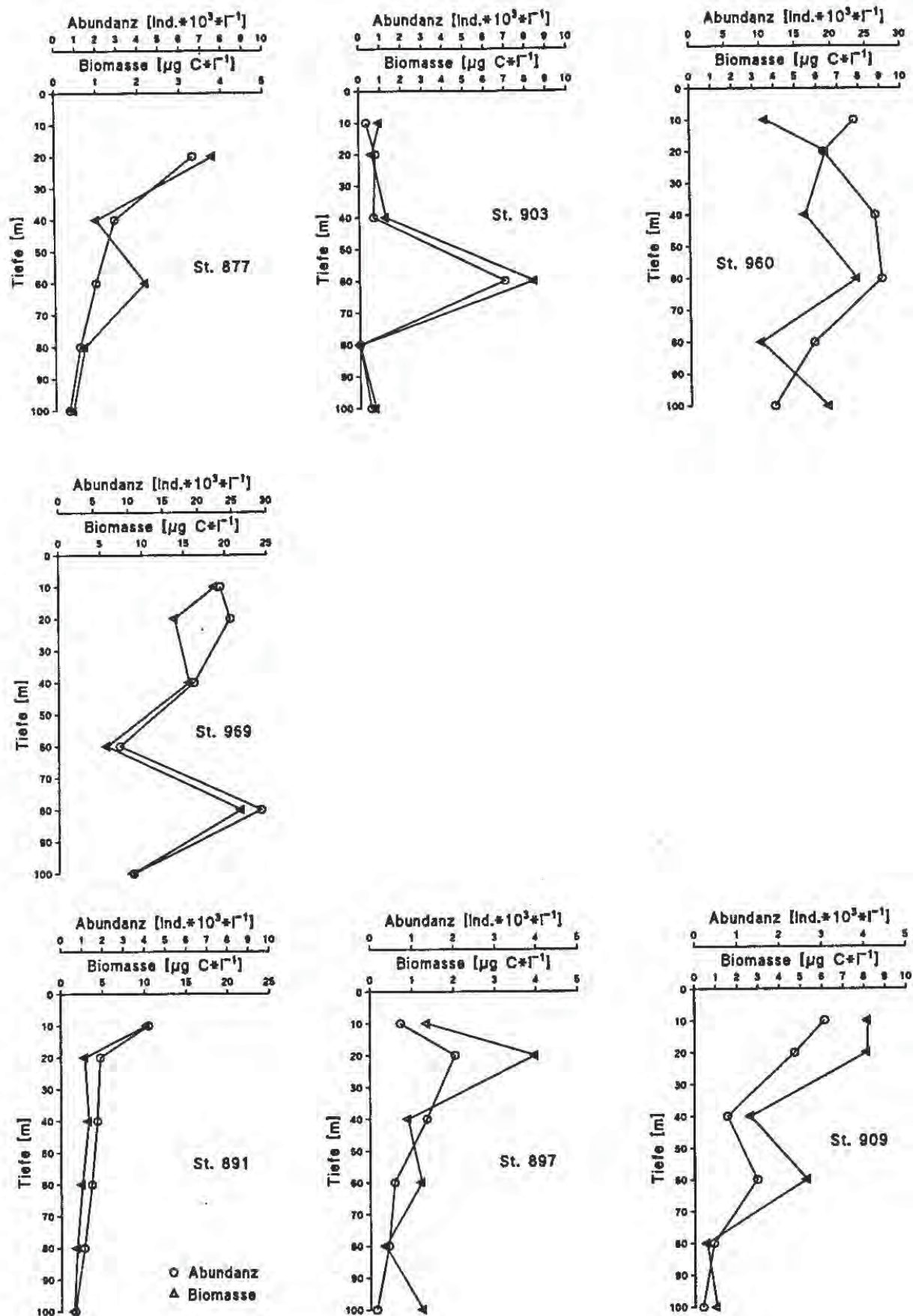


Abb. 18.1: Tiefenverteilung der Biomasse und der Abundanz des Mikrozooplanktons in der Polar-Fronten-Zone (St. 877, 903, 960, 969), im eisfreien Bereich des AZS (St. 891, 897, 909, 945, 949, 953) und im eisbedeckten Bereich des AZS (St. 870, 886, 886/2, 915, 918, 930).

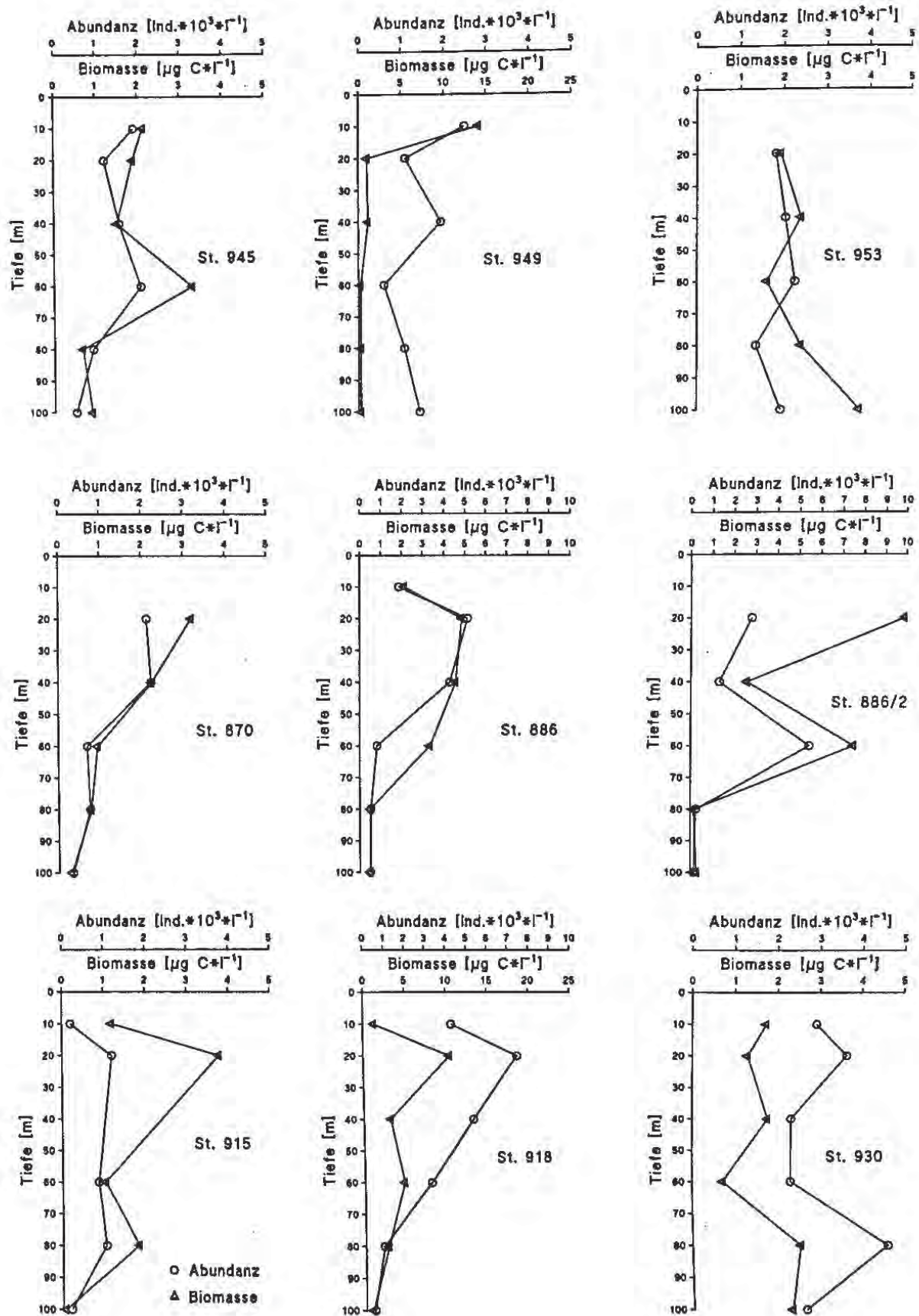


Abb. 18.2: Tiefenverteilung der Biomasse und der Abundanz des Mikrozooplanktons in der Polar-Fronten-Zone (St. 877, 903, 960, 969), im eisfreien Bereich des AZS (St. 891, 897, 909, 945, 949, 953) und im eisbedeckten Bereich des AZS (St. 870, 886, 886/2, 915, 918, 930).

der Mikrozooplankton-Biomasse mit der Zeit und steigen von anfänglich $195 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2}$ auf $548.9 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2}$ an, womit sich eine Parallele zur Entwicklung der Phytoplankton-Population an dieser Position ergibt (vergl. 4.2.3). Die Tiefenprofile der Mikrozooplankton-Bestands-Parameter der St. 877 verdeutlichen ein erstes Biomasse- und Abundanzmaximum in 20m Tiefe und zeigen ein weiteres Biomassemaximum in 60m Tiefe. Dieses tiefer gelegene Bestandsmaximum ist in auffälliger Weise an der St. 903, und in abgeschwächtem Maße auch bei St. 960 wiederzufinden. Der höchste Mikrozooplankton-Bestand während des gesamten Untersuchungszeitraumes wurde an der St. 969 (47°S) festgestellt ($1341.55 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2}$). Auch hier ergibt sich eine auffällige Biomasse-Akkumulation in einer Tiefe von 80m, womit in Übereinstimmung mit den restlichen Stationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone festgestellt werden kann, daß die Mikrozooplankton-Bestandsmaxima stets unterhalb der Primärproduktions-Maxima (siehe Abb. 17.1 und 17.2) anzutreffen waren.

Ein Vergleich mit den Tiefenbereichen der maximalen Phytoplankton-Bestände (Abb. 15.1 und 15.2) zeigt jedoch, daß sich zumindest für die St. 960 und 969 ähnliche Profilverläufe für die Parameter der Phytoplankton-Bestände und der Mikrozooplankton-Bestände ergeben, was für die St. 877 und 903 nicht festgestellt werden kann. Eine Gegenüberstellung der Mikrozooplankton-Biomasse aller Stationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone und der Phytoplankton-Biomasse in diesem Bereich ergibt, daß die Mikrozooplankton-Biomasse stets weniger als 20% (9%-16%) der Phytoplankton-Biomasse ausmacht (Vergleich der integrierten Werte über die Beprobungstiefe 0-100m).

Hinsichtlich der taxonomischen Zusammensetzung und der Abundanz- (Abb. 19.1 und 19.2) und Biomasseverteilung (20.1 und 20.2) innerhalb der Mikrozooplankton-Populationen der Polar-Fronten-Zone zeigt sich, daß die Populationen zunächst (St. 877 und 903) aus aloricate Ciliaten der Gattungen *Strombidium* und *Strobilidium* und aus heterotrophen Dinoflagellaten (dominant sind *Podolampas sp.* und *Cochlidinium sp.*) zusammengesetzt sind. Der überwiegende Anteil der heterotrophen Dinoflagellaten an der St. 877 wird an St. 903 deutlich zugunsten der aloricate Ciliaten zurückgedrängt, wo die Dinoflagellaten nur noch in 60m Tiefe zusammen mit den Vertretern der Gattung *Strombidium* für das Bestands-Maximum verantwortlich zeichnen. Für diese Stationen ergibt sich ein weitestgehend gleichförmiger Verlauf für die Tiefenprofile der beiden Bestandsparameter, was für ein konstantes Abundanz-Biomasse-Verhältnis spricht. An der St. 960 ist dieses konstante Verhältnis nicht mehr so deutlich zu erkennen. Als Ursache hierfür ist der Einfluß von Tintinnen (*Eutintinnus sp.* und *Proplectella parva*) auf die Biomasse der Mikrozooplankton-Population dieser Station zu nennen. Durch ihre relativ hohe individuelle Biomasse sind sie für die entkoppelten Verläufe der Tiefenprofile der Mikrozooplankton-Bestands-Parameter zumindest in den oberen 40m verantwortlich. Der Unterschied in den Profilverläufen zwischen 80m und 100m ist durch Foraminiferen verursacht, die ebenso wie die Tintinnen einen relativ höheren Einfluß auf die

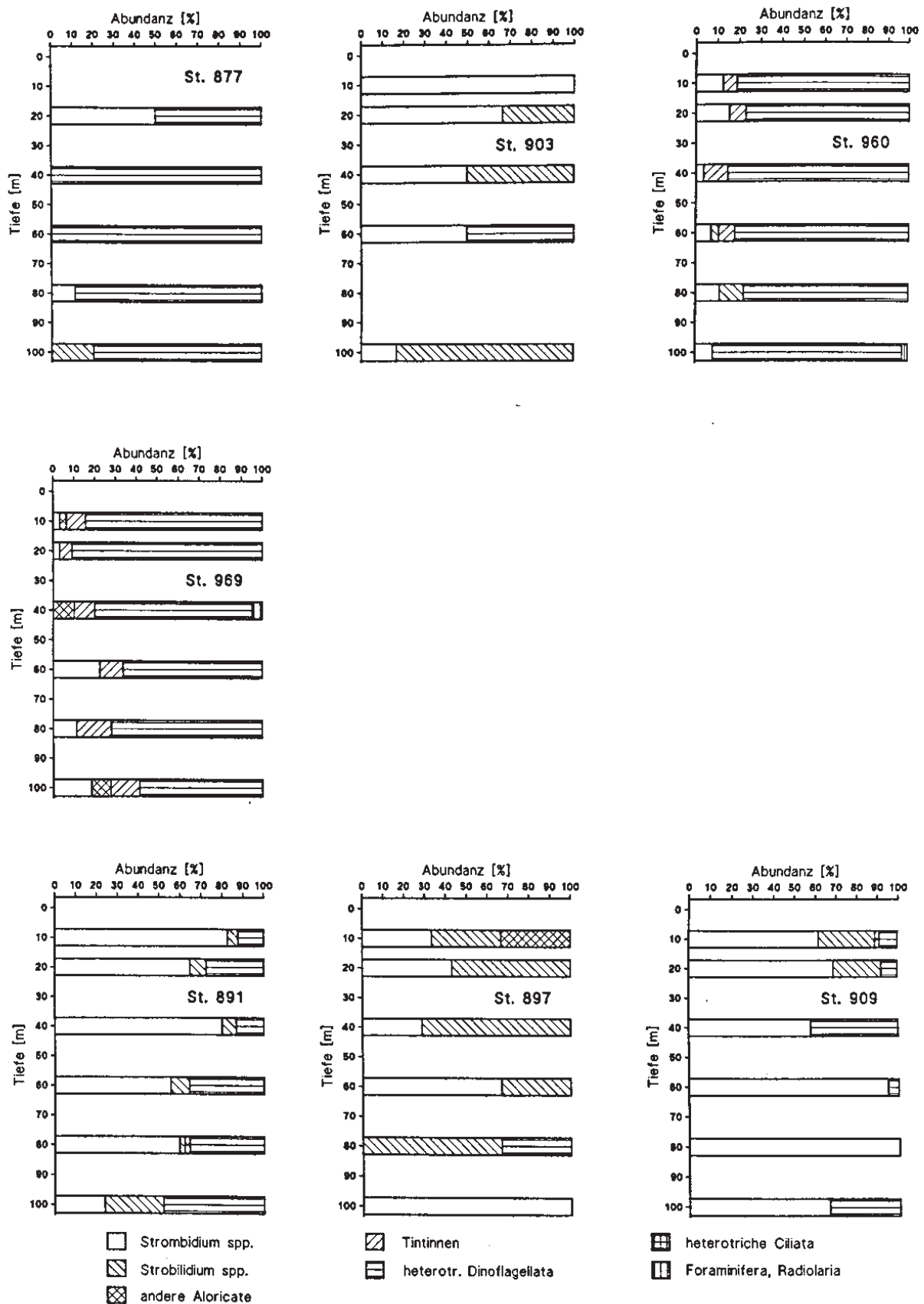


Abb.19.1: Der prozentuale Anteil einzelner Taxa bzw. Organismengruppen an der Abundanz den Mikrozooplankton-Populationen im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 (Polar-Fronten-Zone: 877, 903, 960, 969; eisfreier Bereich des AZS: St. 891, 897, 909, 945, 949, 953; eisbedeckter Bereich des AZS: St. 870, 886, 886/2, 915, 918 930).

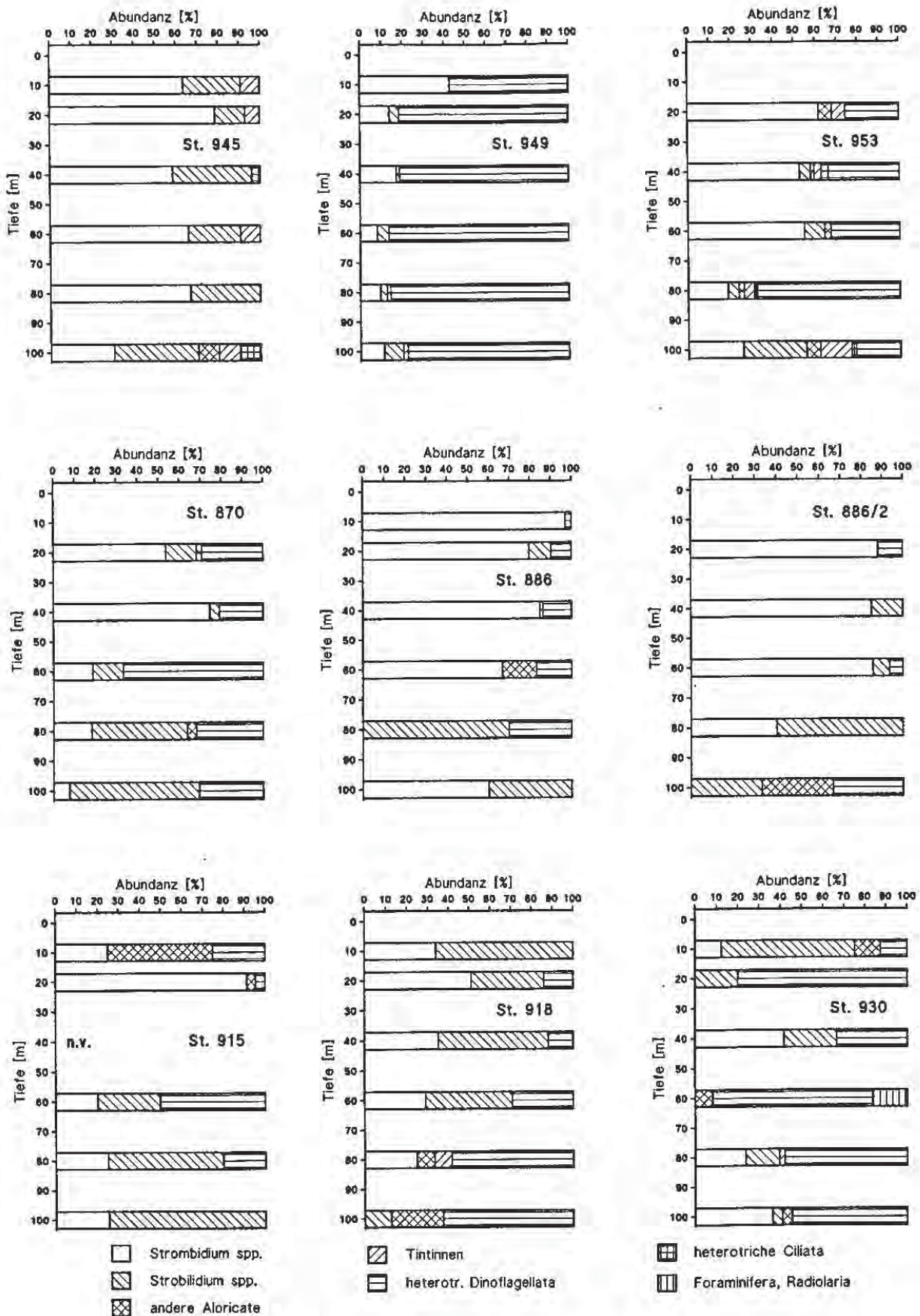


Abb.19.2: Der prozentuale Anteil einzelner Taxa bzw. Organismengruppen an der Abundanz den Mikrozooplankton-Populationen im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 (Polar-Fronten-Zone: 877, 903, 960, 969; eisfreier Bereich des AZS: St. 891, 897, 909, 945, 949, 953; eisbedeckter Bereich des AZS: St. 870, 886, 886/2, 915, 918 930).

Biomasse als auf die Abundanzwerte des Mikrozooplanktons ausüben. Weiter im Norden (St.969) wird die Biomasse der Mikrozooplankton-Population sogar von den Tintinnen dominiert (*Eutintinnus sp.* und *Ascampbelliella lata*) während sich im Bezug auf die Abundanzen an dieser Station eine Dominanz für die heterotrophen Dinoflagellaten ergibt.

Die Mikrozooplankton-Populationen im Bereich des Antarktischen Zirkumpolarstromes (AZS) weisen durchschnittlich geringere Bestände auf, als sie in der Polar-Fronten-Zone festgestellt werden konnten. Die über die Beprobungstiefe (0-100m) integrierten Biomasse-Werte schwanken zwischen $106.5 \text{ mg C}\cdot\text{m}^{-2}$ und $505 \text{ mg C}\cdot\text{m}^{-2}$, wobei keine auffälligen Unterschiede zwischen den eisfreien und den eisbedeckten Bereichen des AZS festgestellt werden konnten. Die Bestandsmaxima lagen mit wenigen Ausnahmen (St. 930, 945 und 953) stets in den oberen 20m der Wassersäule und zeigen in einigen Fällen auffällige Ähnlichkeiten zu den Profilverläufen der Phytoplankton-Biomasse-Parameter (Abb. 15.1 und 15.2), wenngleich sich nicht in jedem Fall die Tiefenlagen der Bestandmaxima des Mikrozooplanktons und des Phytoplanktons decken. Weitestgehend kongruent verlaufen die Tiefenprofile der Bestands-Parameter des Mikrozooplanktons, wiederum mit Ausnahme der bereits o.a. St. 930 und 953. Für alle Stationen im Bereich des AZS ergibt sich neben dem Unterschied in den absoluten Werten der Mikrozooplankton-Bestände gegenüber den Stationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone, ein weiterer Unterschied: Es zeigt sich, daß die Biomasse des Mikrozooplanktons gegenüber der Phytoplankton-Biomasse der einzelnen Stationen durchschnittlich sehr viel höhere Werte annimmt. Die Zahlen liegen zwischen 16% und 272%. Die Mikrozooplankton-Biomasse übersteigt die Phytoplankton-Biomasse an den Stationen 886/2 (272 % vom PPC), 891 (140 % v. PPC), 909 (159 % v. PPC) und St. 949 (106 % v. PPC).

Hierbei muß daran erinnert werden, daß sich die angegebenen Biomassewerte aus der Utermöhl-Auswertung ergeben. Möglicherweise rekrutiert sich aber ein erheblicher Anteil an der Phytoplankton-Biomasse aus Größenklassen, die mit der Utermöhl-Auswertung nur bedingt erfaßt werden. Es können hier also durchaus potentielle Nahrungsquellen für das Mikrozooplankton vorhanden sein, die in die o.a. PPC-Werte nicht miteingegangen sind und dadurch das Verhältnis so ungünstig erscheinen lassen. Die Werte für die Polar-Fronten-Zone und die Werte für den AZS sind aber direkt vergleichbar, da sie auf der gleichen Grundlage erhoben wurden.

Die taxonomische Zusammensetzung und die Abundanz- (Abb.19.1 und 19.2) und Biomasseverteilung (Abb.20.1 und 20.2) des Mikrozooplanktons im Bereich des AZS zeigt für die eisfreien und die eisbedeckten Teile leichte Unterschiede. Im eisfreien Bereich werden sowohl in Bezug auf Biomasse als auch auf die Abundanzen die Populationen deutlich durch die aloricate Ciliaten der Gattungen *Strombidium* und *Strobilidium* dominiert. Als häufigste Arten sind hier *Strombidium vestitum*, *Strombidium conicum* zu nennen, während die Vertreter der Gattung *Strobilidium* oft nicht näher bestimmt werden konnten.

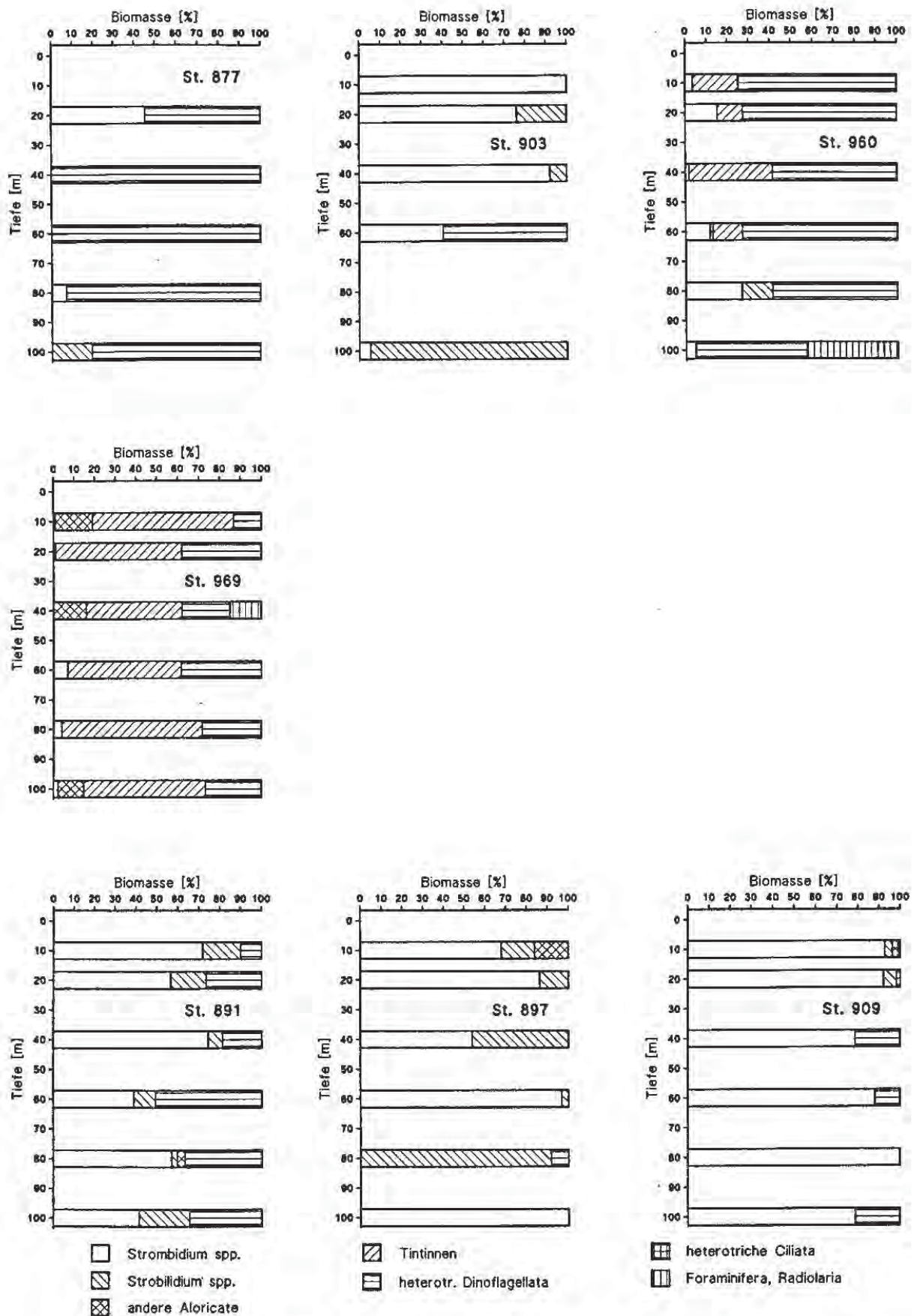


Abb.20.1: Der prozentuale Anteil einzelner Taxa bzw. Organismengruppen an der Biomasse der Mikrozooplankton-Populationen im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 (Polar-Fronten-Zone: St. 877, 903, 960, 969; eisfreier Bereich des AZS: St. 891, 897, 909, 945, 949, 953; eisbedeckter Bereich des AZS: St. 870, 886, 886/2, 915, 918, 930).

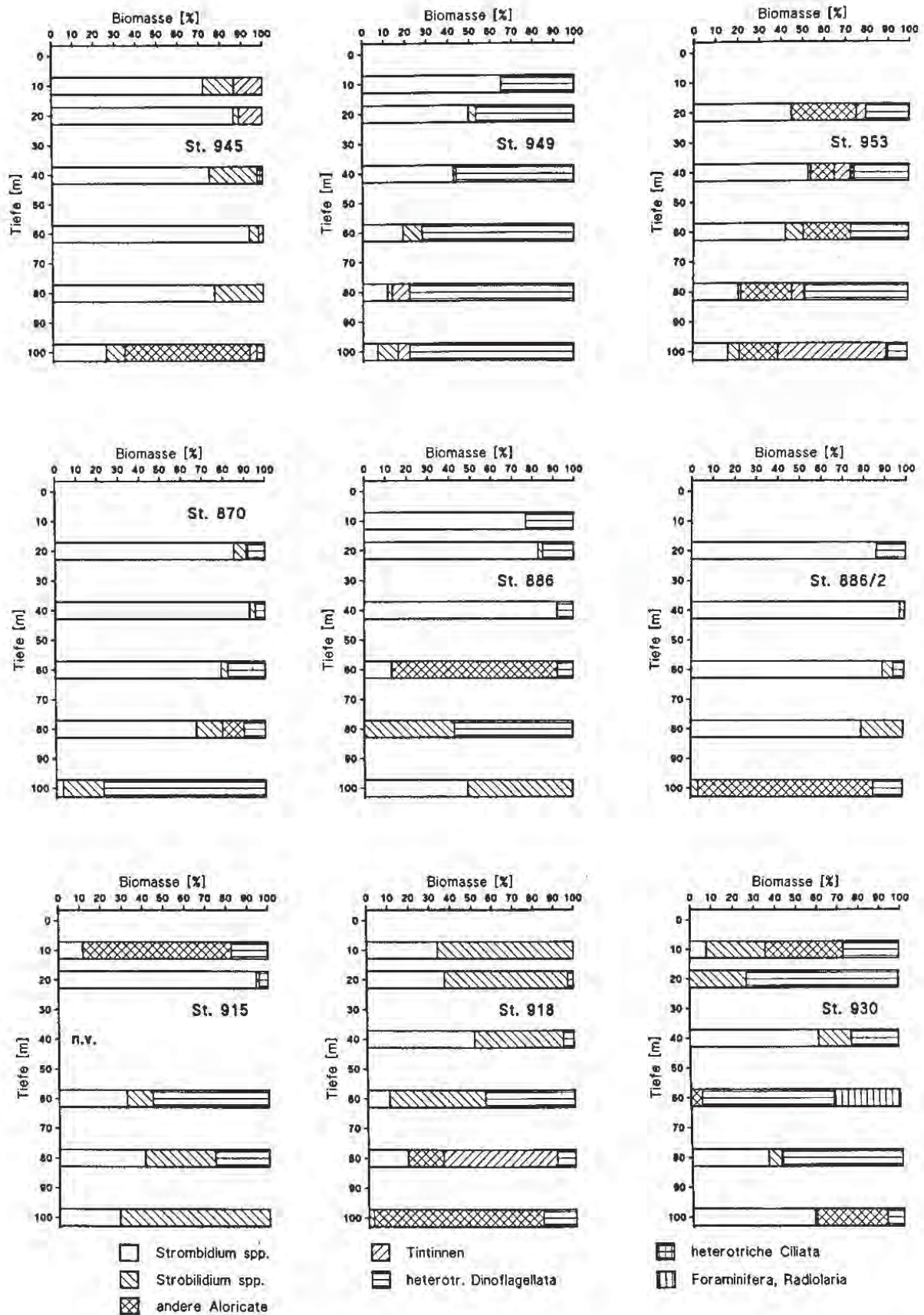


Abb.20.2: Der prozentuale Anteil einzelner Taxa bzw. Organismengruppen an der Biomasse der Mikrozooplankton-Populationen im Untersuchungsgebiet von ANT X/6 (Polar-Fronten-Zone: St. 877, 903, 960, 969; eisfreier Bereich des AZS: St. 891, 897, 909, 945, 949, 953; eisbedeckter Bereich des AZS: St. 870, 886, 886/2, 915, 918, 930).

In Richtung Norden läßt sich ein zunehmend größer werdender Einfluß der mehrere Gattungen umfassenden Gruppe der "anderen Aloricateen" verzeichnen. Hauptvertreter innerhalb dieser Gruppe waren *Lohmaniella oviformis*, seltener *Metastrombidium sonnifer* und *Tontonia spec.* Heterotrophe Dinoflagellaten nehmen im nördlichen Bereich des AZS zum Ende des Untersuchungszeitraumes steigende Anteile sowohl an der Biomasse als auch an den Abundanzen ein. Als dominante Vertreter sind hier *Podolampas spec.*, *Cochlidinium spec.* und *Achradina angusta* zu nennen.

Abgesehen von vereinzelt, sporadischen Vorkommen im südlichen Bereich des AZS ist auffällig, daß die Tintinnen erst nördlich von etwa 51°S (St. 953) namhafte Anteile am Mikrozooplankton-Bestand einnehmen. Von den im gesamten Untersuchungsgebiet gefundenen zehn Tintinnen-Arten wurden fünf allein an der Station 953 registriert: Es waren *Helicostomella spec.*, *Parafavella cf. subula*, *Coxiella cf. helix*, *Acanthostomella norwegica* und *Proplectella cf. tenuis*. Zusammen mit St. 945 wurden ebenfalls an St. 953 geringe Bestände von heterotrichen Ciliaten festgestellt.

In Bezug auf die Dominanz der aloricateen Ciliaten der Gattungen Strombidium und Strobilidium für die Mikrozooplankton-Populationen im eisbedeckten Bereich des AZS unterscheidet sich diese Region nicht von den eisfreien Teilen des AZS. Wie bereits erwähnt fehlen den Populationen im Eis-Bereich des AZS praktisch die Tintinnen, an deren Stelle aber höhere Anteile von heterotrophen Dinoflagellaten und den "anderen Aloricateen" zu verzeichnen sind.

4.2.5 Freßexperimente mit natürlichen Mikrozooplankton-Populationen

Der Grazingdruck natürlicher Mikrozooplankton-Populationen auf den Phytoplankton-Bestand kann derzeit nur durch Serial-Dilution-Experimente (SDE) ermittelt werden. Während ANT X/6 wurden diese Experimente durch den Einsatz verschiedener Meßmethoden (Chl.a-Analysen, Epifluoreszenz-Mikroskopie und Durchfluß-Zytometrie) ausgewertet. Dabei ist hervorzuheben, daß durch die Chl.a-Analyse der Gesamtbestand des Phytoplanktons erfaßt wird, während durch die beiden anderen Methoden lediglich das autotrophe Pico- und Nanoplankton berücksichtigt wird. Durch größenfraktionierte Chl.a-Analysen wäre auch beim Einsatz dieser Auswertemethode, eine Differenzierung des Freßdrucks des Mikrozooplanktons auf die unterschiedlichen Größenklassen des Phytoplanktons möglich. Leider mußte aus Gründen der in den meisten Fällen vorgefundenen sehr niedrigen Chl.a-Konzentrationen (12 von 16 Stationen $< 0.4 \text{ mg Chl. a} \cdot \text{l}^{-1}$), auf diese Auswertemöglichkeit verzichtet werden. Es sollen hier zunächst die Ergebnisse der Chl.a-Auswertungen der Freßexperimente dargestellt werden. In den Kapiteln 4.2.5.1 und 4.2.5.2 folgen anschließend die Ergebnisse der mikroskopischen und der zytometrischen Auswertungen.

Im Bereich der Polar-Fronten-Zone (St. 877, 903, 960 und 969) wurden die Experimente mit Proben aus einer Lichttiefe durchgeführt, die 6%-31% der Oberflächen-Lichtwerte entsprachen. Die Probenahmetiefe lag damit stets oberhalb der Tiefe mit der höchsten Phytoplankton-

Biomasse-Akkumulation (vergl. Abb. 15.1 und 15.2), mit Ausnahme der St. 877 aber stets im Bereich des Primärproduktions-Maximums (vergl. Abb. 17.1 und 17.2). Die Ergebnisse der Grazing-Experimente, die in Form einer linearen Regression der ermittelten "apparent phytoplankton growth rate" gegenüber dem Anteil an unfiltriertem Seewasser, das in den entsprechenden Verdünnungsansätzen enthalten war, sind in Abbildung 21.1 und 21.2 dargestellt (vergl. dazu 3.7.1). Die beschreibenden Parameter der resultierenden Geraden der linearen Regressionen ($y=k+gx$) und Angaben zur Probennahme sind in Tabelle 5.1 zusammengefaßt, während eine Aufstellung weiterführender Berechnungen (siehe 3.7.1) auf der Grundlage der ermittelten Geradencharakteristika in Tabelle 5.2 aufgeführt ist.

Die ermittelten Phytoplankton-Wachstumsraten (Phytoplankton-Wachstums-Koeffizient " k " = y-Achsenabschnitt der Geraden) nehmen in den Experimenten aus dem Bereich der Polar-Fronten-Zone Werte von 0.108-1.151 an. Daraus lassen sich Chl.a-Verdoppelungsraten von 0.17-1.66 pro Tag berechnen und liegen damit durchschnittlich oberhalb der Raten, die für die Phytoplankton-Bestände im AZS ermittelt werden konnten. Die Grazing-Koeffizienten " g " (negativer Wert der Steigung der linearen Regressionsgeraden) schwanken zwischen 0.197 und 0.956 und lassen auf eine Aufnahme von 0.16 und 1.32 $\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ durch das Mikrozooplankton schließen. Der Anteil am Chl.a-Bestand, der durch den Grazing-Einfluß des Mikrozooplanktons pro Tag weggefressen wurde, beträgt daher 18%-62%. Der Freßdruck dieser Größenordnung wird auch daran deutlich, daß die potentielle Chl.a-Produktion (als Maß für das grazing-unbeeinflusste Phytoplankton-Wachstum) mit Werten von 0.09-1.47 $\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ auf eine aktuelle Produktion (als Maß für die Chl.a-Konzentrationsänderung, die in Anwesenheit der Grazer noch erzielt werden kann) von -0.07-0.23 $\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ gedrückt wurde. Dies bedeutet, daß zumindest in einem Fall (St. 877) der Chl.a-Bestand durch das Mikrozooplankton-Grazing in einem Maße beeinflusst wird, das kein weiterer Netto-Zuwachs an Chl.a zustande kommen kann. Die durchschnittlichen, individuellen Ingestionsraten der Mikrozooplankton-Populationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone ergeben sich aus der kumulativen Grazingrate und der Mikrozooplankton-Abundanz in der Probennahmetiefe und erreichen Werte von 0.0010-0.0060 $\text{ng Chl.}\underline{a} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Für die Dilution-Experimente der Stationen (St. 891, 897, 909, 945, 949 und 953) im eisfreien Bereich des AZS ist zunächst anzumerken, daß die Chl.a-Konzentrationen von fünf der sechs Stationen dieser Region nur 0.25 $\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1}$ (im unverdünnten Ansatz) oder weniger betrugen. Es ist möglich, daß diese geringen Ausgangskonzentrationen einen Einfluß darauf gehabt haben, daß vier von den sechs in diesem Bereich durchgeführten Grazing-Experimente fehlschlagen (St. 891, 909, 945 und 953). Die Phytoplankton-Wachstumsraten (" k ") der beiden auswertbaren Experimente in dieser Region ergaben Werte von 0.227 und 0.534, woraus sich Chl.a-Verdoppelungsraten von 0.33 und 0.77 pro Tag berechnen lassen. Der Freßdruck der Mikrozooplankton-Populationen auf den Chl.a-Bestand betrug 0.04 und 0.08 $\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ und liegt damit deutlich unterhalb der Werte der Polar-Fronten-Region. Durch die Grazing-Aktivität wurden in der eisfreien Region des AZS täglich 13% bzw. 25% des Chl.a-

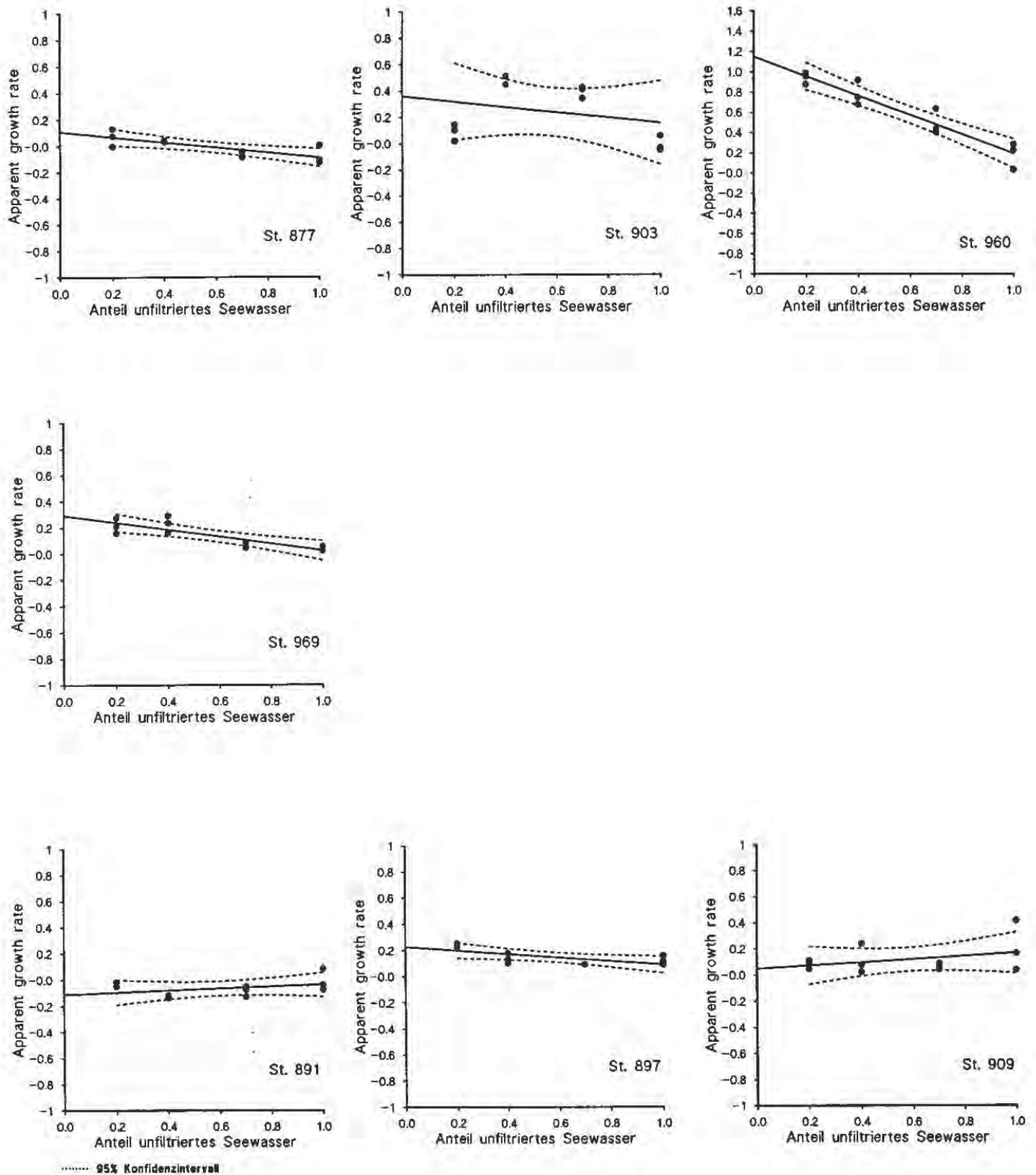


Abb.21.1: Grafische Darstellung der Ergebnisse der Serial-Dilution-Experimente (Chl.a-Auswertung) während ANT X/6. Dargestellt sind die Linearen Regressionen für die "Apparent phytoplankton growth rate" (Netto-Wachstumsrate des Phytoplanktons) gegenüber dem Anteil an unfiltriertem Seewasser als relatives Maß für die Grazerdichte.

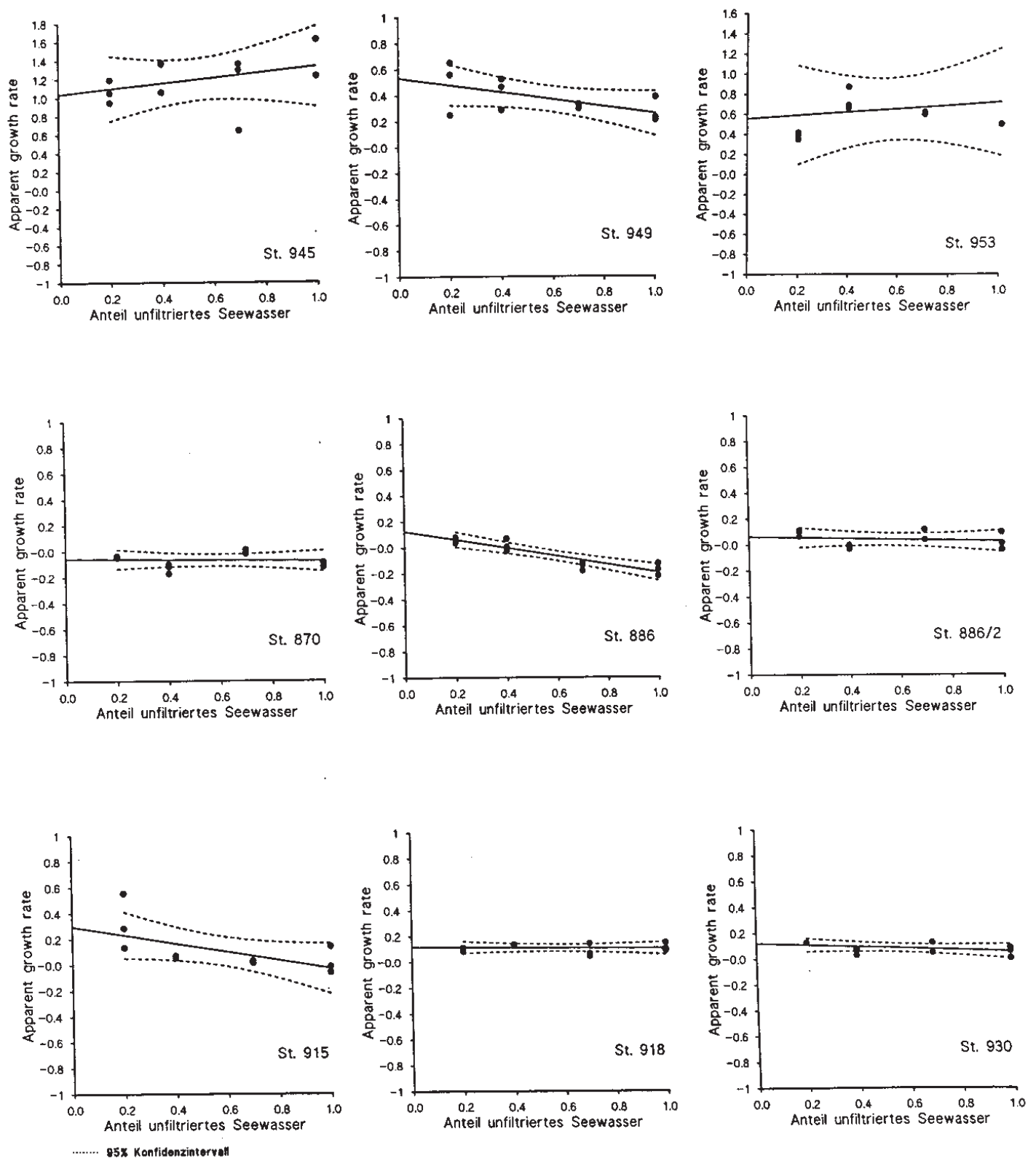


Abb.21.2: Grafische Darstellung der Ergebnisse der Serial-Dilution-Experimente (Chl.a-Auswertung) während ANT X/6. Dargestellt sind die Linearen Regressionen für die "Apparent phytoplankton growth rate" (Netto-Wachstumsrate des Phytoplanktons) gegenüber dem Anteil an unfiltriertem Seewasser als relatives Maß für die Grazerdichte.

Bestands durch das Mikrozooplankton aufgenommen. Die Beprobungstiefen entsprachen Lichttiefen von 21%-31% der Oberflächen-Lichtwerte und lagen damit stets unterhalb der Tiefen, in denen die höchste Chl.a-Akkumulation verzeichnet werden konnte (Abb.15.1 und 15.2) bzw. die Primärproduktionsmaxima festgestellt wurden (Abb.17.1 und 17.2). Unter der hypothetischen Annahme, daß keine Freßfeinde vorhanden wären, könnte sich an den beiden Stationen eine potentielle Chl.a-Produktion von 0.07 bzw. 0.13 $\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ einstellen. Die aktuelle Produktion, also in Gegenwart der Grazer, betrug jedoch nur noch 0.03 bzw. 0.05 $\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ und somit war in beiden Fällen nur ein sehr niedriges Wachstum zu verzeichnen. Die Ingestionsraten des Mikrozooplanktons bezogen auf ein Individuum betrugen 0.0006 bzw. 0.0010 $\text{ng Chl.}\underline{a} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Tab.5.1: Aufstellung der Parameter der Linearen Regressionen der Serial-Dilution-Experimente während ANT X/6 und Angaben zur Probenahmetiefe (g= Grazingkoeffizient, entspricht dem negativen Wert für die Steigung der Geraden; k= Phytoplankton-Wachstumskoeffizient, entspricht dem y-Achsenabschnitt der Geraden ; r=Korrelationskoeffizient für die Lineare Regression; sortiert nach den Stationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone und den Stationen im eisfreien und eisbedeckten Bereich des AZS).

Station	Probenahmetiefe [m]	Lichttiefe [%]	k \pm StAbw. [d ⁻¹]	g \pm StAbw. [d ⁻¹]	r	n
877	20	17	0.108 \pm 0.048	0.197 \pm 0.046	0.806	12
903	20	10	0.361 \pm 0.222	0.203 \pm 0.212	0.290	12
960	20	31	1.151 \pm 0.102	0.956 \pm 0.097	0.952	12
969	20	6	0.291 \pm 0.052	0.267 \pm 0.050	0.861	12
891	20	28	-0.110 \pm 0.060	-0.080 \pm 0.060	0.370	11
897	20	21	0.227 \pm 0.045	0.136 \pm 0.043	0.709	12
909	20	33	0.050 \pm 0.110	-0.122 \pm 0.105	0.344	12
945	20	31	1.088 \pm 0.259	-0.296 \pm 0.272	0.341	11
949	20	31	0.534 \pm 0.119	0.282 \pm 0.113	0.618	12
953	20	28	0.559 \pm 0.375	-0.160 \pm 0.357	0.141	12
870	20	40	-0.056 \pm 0.056	0.020 \pm 0.053	0.118	12
886	20	33	0.126 \pm 0.045	0.321 \pm 0.043	0.922	12
886/2	20	23	0.062 \pm 0.057	0.036 \pm 0.055	0.202	12
915	20	22	0.297 \pm 0.137	0.327 \pm 0.130	0.618	12
918	20	22	0.117 \pm 0.034	0.013 \pm 0.032	0.122	12
930	20	22	0.121 \pm 0.039	0.066 \pm 0.037	0.487	12

Die Ausgangskonzentrationen in den unverdünnten Ansätzen der Dilution-Experimente im eisbedeckten Bereich des AZS lagen meist nur leicht oberhalb der Konzentrationen der Experimente im eisfreien Bereich des AZS. Dennoch konnte hier für alle Experimente ein positiver Ausgang verzeichnet werden, indem sich Phytoplankton-Wachstums-Koeffizienten von -0.056 bis 0.297 aus den Experimenten ergaben. Daraus lassen sich Chl.a-Verdoppelungsraten von -0.08 bis 0.43 pro Tag berechnen, d.h., daß in dieser Region des Untersuchungsgebietes sogar für eine Station (St. 870), auch ohne den Einfluß der Grazer, keine positive Chl.a-Produktion zu verzeichnen war. Die Werte für die potentielle Produktion

beliefen sich auf $-0.02 - 0.14 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. Der Grazeinfluß des Mikrozooplanktons betrug $0.01-0.15 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, wodurch sich die tatsächlich zu verzeichnende (aktuelle) Chl. \underline{a} -Produktion gegenüber der potentiellen Produktion auf $-0.06-0.03 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ verringerte. Die Proben für die Grazing-Experimente in dieser Region des Untersuchungsgebietes, wurden aus Lichttiefen zwischen 22%-40% der Oberflächen-Lichtwerte entnommen. Da die Chl. \underline{a} -Tiefenverteilungen (vergl. 4.2.3) meist einheitliche Verläufe über die Tiefe aufwiesen, kann mit Ausnahme der St. 915 nicht von einer Probennahme im Bereich der höchsten Chl. \underline{a} -Akkumulationsrate gesprochen werden. Die maximale Primärproduktionsrate (vergl. Abb.17.1 und 17.2) lag ebenfalls stets oberhalb der Beprobungstiefe für die Freßexperimente. Die Mikrozooplankton-Populationen in diesen Tiefen wiesen eine durchschnittliche, individuelle Ingestionsrate von $0.0000-0.0065 \text{ ng Chl.}\underline{a} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ auf.

Tab.5.2: Aufstellung der Resultate weiterführender Berechnungen aus den Ergebnissen der Serial-Dilution-Experimente während ANT X/6 (sortiert nach den Stationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone und den Stationen im eisfreien und eisbedeckten Bereich des AZS).

Station	Start-Konz. Chl. \underline{a} [$\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1}$]	MZP [Ind. $\cdot \text{l}^{-1}$]	% Start Konz.Chl. \underline{a} aufgenommen [d^{-1}]	Chl. \underline{a} Verdoppel. [d^{-1}]	Potentielle Produktion [$\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$]	Aktuelle Produktion [$\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$]	Chl. \underline{a} aufgen. [$\mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$]	Ingest. Rate
877	0.82	6433	18	0.17	0.09	-0.07	0.16	0.0010
903	1.32	2434	18	0.52	0.57	0.23	0.35	0.0060
960	0.68	12327	62	1.66	1.47	0.15	1.32	0.0045
969	1.26	14585	23	0.42	0.43	0.03	0.40	0.0011
891	0.24	2469	—	—	—	—	—	—
897	0.27	1702	13	0.33	0.07	0.03	0.04	0.0010
909	0.25	2087	—	—	—	—	—	—
945	0.25	1826	—	—	—	—	—	—
949	0.19	5655	25	0.77	0.13	0.05	0.08	0.0006
953	0.18	6672	—	—	—	—	—	—
870	0.27	1890	2	-0.08	-0.02	-0.02	0.01	0.0002
886	0.31	638	27	0.18	0.04	-0.06	0.10	0.0065
886/2	0.27	1347	4	0.09	0.02	0.01	0.01	0.0031
915	0.39	2608	28	0.43	0.14	-0.01	0.15	0.0024
918	0.30	7824	1	0.17	0.04	0.03	0.01	0.0000
930	0.18	4230	6	0.18	0.02	0.01	0.01	0.0001

Ingestionsrate in [$\text{ng Chl.}\underline{a} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$]

4.2.5.1 Epifluoreszenz-mikroskopische Auswertung der Freßexperimente

In den folgenden beiden Kapiteln werden die Ergebnisse von Auswerte-Methoden dargestellt, die im Gegensatz zur Chl. \underline{a} -Analyse nur das autotrophe Pico- ($< 2 \mu\text{m}$) und Nanoplankton ($2-20 \mu\text{m}$) berücksichtigen. Im Falle der mikroskopischen Auswertungen wurde eine noch

weitergehende Unterteilung der genannten Phytoplankton-Größenklassen vorgenommen, so daß Einzelanalysen für die Größenklassen $< 20 \mu\text{m}$, $< 2 \mu\text{m}$, $2-5 \mu\text{m}$ und $5-10 \mu\text{m}$ dargestellt werden können (auf die Darstellung der Ergebnisse für die Größenklasse $10-20 \mu\text{m}$ wurde verzichtet, da sich aufgrund der relativ geringen Abundanzanteile (0.2-4%) dieser Größenklasse am autotrophen Phytoplankton $< 20 \mu\text{m}$ und des Zählmodus zu große statistische Zählfehler ergeben). Ein weiterer Unterschied zur Chl.*a*-Analyse besteht darin, daß nicht der Umweg über ein biochemisches Verfahren genommen werden muß, sondern es sich um sehr direkte Auswerteverfahren (Zählungen und Vermessung) handelt. Der Einsatz mehrerer Auswerteverfahren für Serial-Dilution-Experimente und ein damit möglicher Vergleich der Ergebnisse und angewendeten Methoden wurde bisher sehr selten durchgeführt und liegt nach meiner Kenntnis aus dem Bereich des Südpolarmeeres bisher nicht vor.

Im Untersuchungszeitraum wurden 16 Freßexperimente mit natürlichen Mikrozooplankton-Populationen durchgeführt, von denen acht zusätzlich zur Chl.*a*-Analyse durch epifluoreszenzmikroskopische Auswertungen verfolgt wurden. Für einzelne Größenklassen-Auswertungen verschiedener Stationen ergab sich kein positiver Ausgang hinsichtlich Serial-Dilution-Theorie (St. 886/2 $< 20 \mu\text{m}$ und $< 2 \mu\text{m}$, St. 945 $5-10 \mu\text{m}$, St. 949 $5-10 \mu\text{m}$, St. 969 $< 2 \mu\text{m}$, Tab. 6.1 und 6.2). Die Ergebnisse der Untersuchungen des Grazing-Drucks des Mikrozooplanktons auf die restlichen Phytoplankton-Größenklassen der einzelnen untersuchten Stationen sind in Tabelle 6.1 und 6.2 zusammenfassend wiedergegeben.

Im Bereich der Polar-Fronten-Zone wurden an den Stationen 960 und 969 mikroskopische Analysen der Freßexperimente vorgenommen. Basierend auf den ermittelten Phytoplankton-Wachstums-Koeffizienten (k) der einzelnen Größenklassen dieser beiden Stationen lassen sich die dazugehörigen Zell-Verdoppelungsraten berechnen. Es ergeben sich jeweils für die Größenklasse $5-10 \mu\text{m}$ mit 0.87 (St. 960) bzw. 0.68 (St. 969) pro Tag die höchsten Werte. Weiterhin zeigt sich, daß auch der Grazingdruck des Mikrozooplanktons auf die Größenklasse $5-10 \mu\text{m}$ der Stationen 960 und 969 am höchsten ausfiel. Es wurden jeweils 50% (St. 960) bzw. 31% (St. 969) vom Bestand dieser Größenklasse pro Tag durch das Mikrozooplankton aufgenommen, während die Bestände der restlichen, analysierten Phytoplankton-Größenklassen dieser beiden Stationen nur um 12-22% durch das Grazing des Mikrozooplanktons reduziert wurden.

Die Gesamtabundanz des autotrophen Pico- und Nanoplanktons betrug 6939 (St. 960) bzw. 4006 Ind.*ml⁻¹ (St. 969), wovon ca. 68% bzw. 51% vom Picoplankton gestellt wurden. Die Mikrozooplankton-Abundanzen waren mit 12327 (St. 960) bzw. 14585 Ind.*l⁻¹ (St. 969) die höchsten während des gesamten Untersuchungszeitraumes. Ein Vergleich mit Abb. 19.1 und 19.2 zeigt den sehr hohen Anteil heterotropher Dinoflagellaten am Mikrozooplankton-Bestand. Dennoch ist auffällig, daß die individuellen Ingestionsraten der Mikrozooplankton-Organismen für die einzelnen Phytoplankton-Größenklassen der St. 960 und 969 durchschnittlich oft deutlich geringere Werte aufwiesen, wie sie für die gleichen Phytoplankton-Größenklassen in den anderen Untersuchungsregionen festgestellt werden konnten.

Tab.6.1: Aufstellung der Parameter der Linearen Regressionen für die epifluoreszenz-mikroskopische Auswertung der Serial-Dilution-Experimente während ANT X/6 und Angaben zur Probenahmetiefe (g= Grazingkoeffizient, entspricht dem negativen Wert für die Steigung der Geraden; k= Phytoplankton-Wachstumskoeffizient, entspricht dem y-Achsenabschnitt der Geraden ; r= Korrelationskoeffizient für die Lineare Regression; sortiert nach den Stationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone und den Stationen im eisfreien und eisbedeckten Bereich des AZS).

Station	PP- Größenklasse	Probenahme- tiefe [m]	Lichttiefe [%]	k ± StAbw. [d ⁻¹]	g ± StAbw. [d ⁻¹]	r	n
960	<20 µm	20	31	0.274 ± 0.155	0.251 ± 0.147	0.475	12
	<2 µm			0.294 ± 0.136	0.231 ± 0.129	0.492	12
	2-5 µm			0.130 ± 0.211	0.189 ± 0.201	0.286	12
	5-10 µm			0.605 ± 0.323	0.697 ± 0.307	0.583	12
969	<20 µm	20	6	0.155 ± 0.120	0.132 ± 0.115	0.343	12
	<2 µm			-0.047 ± 0.187	-0.028 ± 0.178	0.050	12
	2-5 µm			0.284 ± 0.198	0.248 ± 0.189	0.384	12
	5-10 µm			0.472 ± 0.163	0.376 ± 0.155	0.608	12
945	<20 µm	20	31	0.518 ± 0.127	0.288 ± 0.205	0.469	9
	<2 µm			0.316 ± 0.136	0.217 ± 0.220	0.349	9
	2-5 µm			0.636 ± 0.089	0.587 ± 0.145	0.837	9
	5-10 µm			0.880 ± 0.449	-0.371 ± 0.728	0.189	9
949	<20 µm	20	31	0.348 ± 0.200	0.380 ± 0.190	0.534	12
	<2 µm			0.349 ± 0.232	0.416 ± 0.221	0.512	12
	2-5 µm			0.061 ± 0.142	0.253 ± 0.135	0.482	12
	5-10 µm			1.286 ± 0.646	-0.288 ± 0.615	0.146	12
953	<20 µm	20	28	0.508 ± 0.172	0.703 ± 0.195	0.787	10
	<2 µm			0.641 ± 0.193	0.943 ± 0.219	0.836	10
	2-5 µm			0.026 ± 0.214	0.018 ± 0.242	0.026	10
	5-10 µm			0.694 ± 0.504	0.211 ± 0.571	0.130	10
886	<20 µm	20	23	0.655 ± 0.230	0.500 ± 0.236	0.576	11
	<2 µm			0.742 ± 0.233	0.575 ± 0.239	0.626	11
	2-5 µm			0.368 ± 0.313	0.194 ± 0.321	0.198	11
	5-10 µm			0.006 ± 0.488	0.178 ± 0.501	0.118	11
886/2	<20 µm	20	23	-0.158 ± 0.096	-0.036 ± 0.131	0.138	6
	<2 µm			-0.236 ± 0.104	-0.134 ± 0.141	0.428	6
	2-5 µm			0.079 ± 0.219	0.407 ± 0.298	0.564	6
	5-10 µm			0.572 ± 0.262	0.162 ± 0.357	0.221	6
918	<20 µm	20	22	0.464 ± 0.186	0.341 ± 0.191	0.511	11
	<2 µm			0.536 ± 0.168	0.375 ± 0.173	0.587	11
	2-5 µm			0.285 ± 0.252	0.190 ± 0.259	0.238	11
	5-10 µm			0.513 ± 0.641	1.028 ± 0.658	0.461	11

PP = Phytoplankton

Im eisfreien Bereich des AZS liegen für die St. 945, 949 und 953 epifluoreszenz mikroskopische Auswertungen der Freßexperimente vor. Der Gesamtbestand des autotrophen Pico- und Nanoplanktons in diesem Bereich des Untersuchungsgebietes schwankte zwischen

Tab.6.2: Aufstellung der Resultate weiterführender Berechnungen aus den Ergebnissen der epifluoreszenz-mikroskopischen Auswertung der Serial-Dilution-Experimente während ANT X/6 (sortiert nach den Stationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone und den Stationen im eisfreien und eisbedeckten Bereich des AZS).

Station	PP Größen- klasse	Start- Konz. PP [Ind.*ml ⁻¹]	MZP [Ind.*l ⁻¹]	% Start Konz. PP aufgen. [d ⁻¹]	Verdoppel. Rate [d ⁻¹]	Pot. Prod.	Akt. Prod.	PP aufgen. [PP-Zellen*ml ⁻¹ *d ⁻¹]	Ingest. Rate
960	<20 µm	6936	12327	22	0.40	2187	161	2026	0.007
	<2 µm	4712		21	0.42	1608	302	1306	0.004
	2-5 µm	1774		17	0.19	245	-103	348	0.001
	5-10 µm	343		50	0.87	285	-30	315	0.001
969	<20 µm	4006	14585	12	0.22	673	93	580	0.002
	<2 µm	2065		—	—	—	—	—	—
	2-5 µm	1335		22	0.41	439	49	390	0.001
	5-10 µm	435		31	0.68	262	44	218	0.001
945	<20 µm	5697	1826	25	0.75	3870	1473	2379	0.055
	<2 µm	3894		20	0.46	1445	403	1042	0.024
	2-5 µm	1339		44	0.92	1190	67	1123	0.026
	5-10 µm	384		—	—	—	—	—	—
949	<20 µm	8914	5655	32	0.50	3705	-283	3988	0.029
	<2 µm	6844		34	0.50	2855	-446	3301	0.024
	2-5 µm	1970		21	0.09	125	-315	440	0.003
	5-10 µm	67		—	—	—	—	—	—
953	<20 µm	14586	4643	50	0.73	9666	-2577	12243	0.110
	<2 µm	11618		61	0.93	10447	-3028	13475	0.121
	2-5 µm	2611		2	0.04	68	19	49	0.000
	5-10 µm	326		19	1.00	326	202	124	0.001
886	<20 µm	2494	638	39	0.94	2305	418	1887	0.123
	<2 µm	1853		44	1.07	2038	337	1701	0.111
	2-5 µm	532		18	0.53	237	101	136	0.009
	5-10 µm	99		16	0.01	1	-15	16	0.001
886/2	<20 µm	3759	1347	—	—	—	—	—	—
	<2 µm	2950		—	—	—	—	—	—
	2-5 µm	665		33	0.11	55	-186	241	0.007
	5-10 µm	89		15	0.83	68	45	23	0.001
918	<20 µm	2888	7824	29	0.67	1704	378	1326	0.007
	<2 µm	1804		31	0.77	1280	315	965	0.005
	2-5 µm	818		17	0.41	269	81	188	0.001
	5-10 µm	246		64	0.74	165	-99	264	0.001

PP = Phytoplankton Ingestionsrate in [PP-Zellen*Ind.⁻¹*h⁻¹]

5697 und 8914 Ind.*ml⁻¹, mit einem verhältnismäßig hohem Anteil an Picoplankton mit 68% - 79%. Die Phytoplankton-Wachstumskoeffizienten (k) erreichten Werte von 0.026 bis 1.286 und ergaben dadurch Zell-Verdoppelungsraten von 0.04 bis 1.0, deren höchsten Raten sich an

den einzelnen Stationen im eisfreien Bereich des AZS jeweils für verschiedene Größenklassen feststellen ließen.

Der Grazing-Druck des Mikrozooplanktons auf die Gesamtpopulation der Autotrophen $< 20 \mu\text{m}$ im eisfreien Bereich des AZS, betrug zwischen 25% (St. 945) bis 50% (St. 953) des Bestandes, der täglich aufgenommen wurde. An der Station 945 werden durch das Mikrozooplankton-Grazing vom Phytoplankton-Bestand der Größenklasse $2-5 \mu\text{m}$ 44% pro Tag aufgenommen. Für die Station 953 ergibt sich für den Picoplankton-Bestand ($< 2 \mu\text{m}$) eine tägliche Dezimierung durch das Mikrozooplankton-Grazing von 61%. An beiden Stationen fallen die Bestands-Dezimierungen durch das Mikrozooplankton-Grazing für die restlichen Phytoplankton-Größenklassen geringer aus, d.h. an den St. 945 und 953 werden die Phytoplankton-Größenklassen $2-5 \mu\text{m}$ (St. 945) bzw. $< 2 \mu\text{m}$ (St. 953) bevorzugt gegrazed. Die durchschnittlichen, individuellen Ingestionsraten der Heterotrophen für die einzelnen, analysierten Phytoplankton-Größenklassen waren im Mittel deutlich höher als im Bereich der Polar-Fronten-Zone und variierten zwischen 0.000 und $0.121 \text{ PP-Zellen} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Im eisbedeckten Bereich des AZS liegen mikroskopische Auswertungen der Freßexperimente für die St. 886, 886/2 und 918 vor. Die Phytoplankton-Wachstums-Koeffizienten (k) der untersuchten Phytoplankton-Größenklassen beliefen sich auf Werte zwischen 0.006 und 0.742, auf deren Basis sich Zell-Verdoppelungsraten von 0.01 bis 1.07 pro Tag berechnen lassen. Die Gesamtabundanzen des autotrophen Pico- und Nanoplanktons in diesem Bereich des Untersuchungsgebietes ergaben Werte von 1786 bis 3759 $\text{Ind.} \cdot \text{ml}^{-1}$, wovon auch hier zwischen 62% und 78% durch das Picoplankton ($< 2 \mu\text{m}$) gestellt wurden. Durch den Grazing-Druck des Mikrozooplanktons wurde der Phytoplankton-Bestand der unterschiedlichen Größenklassen täglich um 15%-64% dezimiert. Eine Präferenz in der Aufnahme durch das Mikrozooplankton (Spalte: % Start Konz. PP. aufgenommen) zeigt sich an St. 886 für die Größenklasse $< 2 \mu\text{m}$, an der St. 886/2 für die Größenklasse $2-5 \mu\text{m}$ und an der St. 918 für die Größenklasse $5-10 \mu\text{m}$. Mit Ausnahme der St. 886 sind die durchschnittlichen, individuellen Ingestionsraten mit den Werten im Bereich der Polar-Fronten-Zone zu vergleichen und erreichen Werte von $0.001 - 0.123 \text{ PP-Zellen} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

4.2.5.2 Durchfluß-zytometrische Auswertung der Freßexperimente

Durch die durchfluß-zytometrische Auswertung der Serial-Dilution-Experimente können genau wie durch die epifluoreszenz-mikroskopische Auswertung, nur Aussagen über den Freßdruck des Mikrozooplanktons auf das autotrophe Plankton $< 20 \mu\text{m}$ vorgenommen werden. Im Fall der Durchfluß-Zytometer-Analyse wird die Obergrenze der analysierbaren Phytoplankton-Größenklassen durch den Durchmesser der Meßkammer bestimmt. Bedingt durch die technische Ausrüstung des benutzten Durchfluß-Zytometers konnten deshalb ausschließlich Partikel im Größenspektrum des Pico- ($< 2 \mu\text{m}$) und Nanoplanktons ($2-20 \mu\text{m}$) analysiert

werden. Da aus technischen Gründen während ANT X/6 mit dem Durchfluß-Zytometer keine Volumenbestimmungen für die analysierten Partikel möglich waren, können hier nur Angaben für die gesamte Phytoplankton-Population $< 20 \mu\text{m}$ gemacht werden, eine weitere Unterteilung wie durch die epifluoreszenz-mikroskopische Auswertung war nicht möglich.

Innerhalb des Untersuchungszeitraumes wurden von den durchgeführten 16 Grazingexperimenten 11 Experimente mittels Durchfluß-Zytometrie analysiert (Tab.7.1 und 7.2). Von diesen 11 Experimenten brachten in Bezug auf die Serial-Dilution-Theorie sechs Experimente auswertbare Ergebnisse hervor. Leider ist unter diesen Experimenten keines aus dem eisbedeckten Bereich des AZS, so daß im Folgenden nur Ergebnisse aus der Polar-Fronten-Zone (St. 903, 960 und 969) und dem eisfreien Bereich des AZS (St. 897, 945 und 949) dargestellt werden können.

Die Konzentrationen des autotrophen Pico- und Nanoplanktons (im unverdünnten Ansatz) im Bereich der Polar-Fronten-Zone beliefen sich auf 4716 bis 6256 $\text{Ind.} \cdot \text{ml}^{-1}$. Aus den Auswertungen ergaben sich Wachstums-Koeffizienten (k) für das autotrophe Pico- und Nanoplankton von 0.034-1.689, wodurch sich Zell-Verdoppelungsraten von 0.05 bis 2.44 pro Tag berechnen lassen. Die Verdoppelungsrate der St. 960 (2.44) ist um ein vielfaches höher, als sie sich aus der mikroskopischen Analyse für die gleiche Größenklasse ($< 20 \mu\text{m}$) ergibt (siehe Tab.6.2). Für den Grazing-Einfluß des Mikrozooplanktons auf das autotrophe Pico- und Nanoplankton im Bereich der Polar-Fronten-Zone ergaben sich Werte von 328 bis 26478 $\text{Ind.} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. Diese Werte entsprechen 7%-80% der autotrophen Pico- und Nanoplankton-Bestände, die pro Tag aufgenommen wurden. Die sich aus den anfänglichen Phytoplankton-Konzentrationen und den ermittelten Verdoppelungsraten ergebenden, von den Grazern unbeeinflusste, potentielle Produktion der Autotrophen betrug 163-26830 $\text{Ind.} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. Durch das Grazing werden diese theoretischen Größen vermindert, wodurch die tatsächlich angetroffene (aktuelle) Produktion nur noch Werte von -165 bis 1228 $\text{Ind.} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ annahm. Es wird demnach hier zumindest an einer Station (St. 969), der Phytoplankton-Bestand durch das Grazing derart dezimiert, daß kein Netto-Wachstum mehr verzeichnet werden kann. Die durchschnittliche, individuelle Ingestionsrate der Mikrozooplankton-Bestände variierte zwischen 0.0009 und 0.089 PP-Zellen $\cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Im eisfreien Bereich des AZS (St. 897, 945 und 949) lagen die gefundenen Größen, die sich durch die Auswertungen der Grazing-Experimente für das autotrophe Pico- und Nanoplankton ergaben, meist unterhalb der Werte im Bereich der Polar-Fronten-Zone. So beliefen sich die Phytoplankton-Zellzahlen auf 3492-7384 $\text{Ind.} \cdot \text{ml}^{-1}$. Diese Bestände wiesen Wachstumskoeffizienten (k) von 0.220-0.624 auf, auf deren Basis sich Zell-Verdoppelungsraten von 0.32- 0.90 pro Tag errechnen lassen. Durch das Grazing des Mikrozooplanktons in diesem Bereich des Untersuchungsgebietes wurden täglich zwischen 783 und 4498 $\text{Ind.} \cdot \text{ml}^{-1}$ des Pico- und Nanoplanktons aufgenommen, was 10%-33% des Bestände entsprach. Da diese Grazing-Raten der potentiellen Produktion der Autotrophen, die zwischen 861 und 6402 $\text{Ind.} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ lag, entgegengesetzt werden muß, konnte die tatsächlich vorgefundene, also unter Berücksichtigung des Grazings, aktuelle Produktion, nur noch Werte

ERGEBNISSE

von 588-2865 Ind.*ml⁻¹*d⁻¹ annehmen. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Mikrozooplankton-Bestände, ergeben sich aus den kumulativen Grazingraten, die durchschnittlichen Ingestionsraten pro Individuum, die zwischen 0.019 und 0.033 PP-Zellen*Ind.⁻¹*h⁻¹ schwanken.

Tab.7.1: Aufstellung der Parameter der Linearen Regressionen für die durchfluß-zytometrische Auswertung der Serial-Dilution-Experimente während ANT X/6 und Angaben zur Probenahmetiefe (g= Grazingkoeffizient, entspricht dem negativem Wert für die Steigung der Geraden; k= Phytoplankton-Wachstumskoeffizient, entspricht dem y-Achsenabschnitt der Geraden ; r= Korrelationskoeffizient für die Lineare Regression; sortiert nach den Stationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone und den Stationen im eisfreien und eisbedeckten Bereich des AZS).

Station	Probenahmetiefe [m]	Lichttiefe [%]	k ± StAbw. [d ⁻¹]	g ± StAbw. [d ⁻¹]	r	n
903	20	10	0.370 ± 0.069	0.191 ± 0.114	0.765	4
960	20	31	1.689 ± 0.151	1.632 ± 0.249	0.998	4
969	20	6	0.034 ± 0.073	0.069 ± 0.121	0.377	4
891	20	28	-0.401 ± 0.061	-0.609 ± 0.101	0.974	4
897	20	21	0.220 ± 0.357	0.198 ± 0.589	0.232	4
909	20	33	0.277 ± 0.069	-0.019 ± 0.114	0.116	4
945	20	31	0.566 ± 0.335	0.110 ± 0.553	0.139	4
949	20	31	0.624 ± 0.076	0.395 ± 0.126	0.911	4
953	20	28	-0.107 ± 0.154	-0.449 ± 0.253	0.780	4
886/2	20	23	0.245 ± 0.049	-0.215 ± 0.081	0.884	4
930	20	22	-0.151 ± 0.191	-0.093 ± 0.315	0.204	4

Tab.7.2: Aufstellung der Resultate weiterführender Berechnungen aus den Ergebnissen der durchfluß-zytometrischen Auswertung der Serial-Dilution-Experimente während ANT X/6 (sortiert nach den Stationen im Bereich der Polar-Fronten-Zone und den Stationen im eisfreien und eisbedeckten Bereich des AZS).

Station	Start-Konz. PP [Ind.*ml ⁻¹]	MZP [Ind.*l ⁻¹]	% Start Konz. PP aufgenommen [d ⁻¹]	PP- Verdoppel. [d ⁻¹]	Potentielle Produktion [Ind.*ml ⁻¹ *d ⁻¹]	Aktuelle Produkt. [Ind.*ml ⁻¹ *d ⁻¹]	PP aufgen.	Ingest. Rate
903	6256	2434	17	0.53	2799	1228	1571	0.060
960	6080	12327	80	2.44	26830	352	26478	0.089
969	4716	14585	7	0.05	163	-165	328	0.0009
891	2536	2469	—	—	—	—	—	—
897	3492	1702	18	0.32	861	588	783	0.019
909	3080	2087	—	—	—	—	—	—
945	5016	1826	10	0.81	3779	2865	914	0.021
949	7384	5655	33	0.90	6402	1904	4498	0.033
953	6672	4643	—	—	—	—	—	—
886/2	4132	1347	—	—	—	—	—	—
930	2276	4230	—	—	—	—	—	—

PP = Phytoplankton Ingestionsrate in [PP Ind.*Ind.⁻¹*h⁻¹]

5. DISKUSSION

5.1 Die taxonomische Zusammensetzung und die Verbreitung des Mikrozooplanktons

Durch seine Untersuchungen in der Kieler Bucht gab LOHMANN (1908) bereits zum Anfang des Jahrhunderts erste Hinweise auf die Stellung bestimmter Vertreter des Mikrozooplanktons innerhalb des damals noch geltenden Konzepts der marinen Nahrungskette. In dieser Zeit wurde davon ausgegangen, daß der wesentliche Teil des Stoff- und Energietransfers ausgehend vom Phytoplankton über die Metazoen an höhere Glieder in der Nahrungskette weitergegeben wird und die Protozoen nur eine unbedeutende Stellung einnehmen. LOHMANN (1908) bemerkte in seiner Arbeit, daß seiner Ansicht nach die Tintinnen nur in der Lage seien sehr kleine Organismen als Nahrung aufzunehmen und dadurch zwischen diesen und den Metazoen als Vermittler eine hervorragende Rolle spielen würden. Trotz dieser frühen Erkenntnisse wurde den Untersuchungen auf dem Gebiet der Mikrozooplankton-Ökologie in der Folgezeit nicht die gleiche Aufmerksamkeit gewidmet, wie es anderen Bereichen der Planktonforschung zuteil wurde. Aus heutiger Sicht kann ein Grund dafür in der Verfügbarkeit geeigneter Untersuchungsmethoden liegen. Beim Einsatz von Netzen zur Gewinnung von Zooplanktonproben sind die überwiegende Anzahl der Vertreter des Mikrozooplanktons entweder aufgrund ihrer Größe erst gar nicht mitgefangen worden oder sie wurden zerstört (SMETACEK 1981): Tintinnen, die in den meisten Fällen nur einen geringen Anteil an der Mikrozooplankton-Population stellen, konnten durch Netzfänge oft gewonnen werden. Aufgrund ihrer geringen Abundanzen wurden sie dann aber meist nicht gebührend beachtet bzw. wurden sie dadurch, daß sie meist als nahezu einzige Vertreter der Protozoen in den Netzfängen vertreten waren, als deren wichtigste Gruppe innerhalb des marinen Planktons angesehen. Daher beschäftigte sich auch eine Anzahl von Untersuchungen vornehmlich mit der Verteilung von Tintinnen in den unterschiedlichen Meeresregionen (z.B. KOFOID und CAMPBELL 1929, ZEITZSCHEL 1966).

Die Einführung verbesserter Untersuchungsmethoden und die zunehmenden Erkenntnisse hinsichtlich des teilweise räumlich und saisonal dominanten Pico- und Nanophytoplanktons, ließen den Untersuchungen der potentiell wichtigsten Nutzergruppe dieser Phytoplankton-Größenklassen steigende Aufmerksamkeit zuteil werden. Damit verbunden stiegen die Informationen über die Populationszusammensetzungen des Mikrozooplanktons, die deutlich machten, daß in der überwiegenden Anzahl der untersuchten Regionen die Tintinnen innerhalb der Mikrozooplankton-Fraktion sowohl durch ihren Abundanz- als auch durch ihren Biomasseanteil nur eine untergeordnete Stellung einnehmen (z.B. BEERS und STEWART 1969, LEPPÄNEN und BRUNN 1986, BURKILL *et al.* 1987, LEAKEY *et al.* 1988, STOECKER *et al.* 1989). Die Bezeichnung "Mikrozooplankton" ist in der vorliegenden Arbeit

als Synonym für die Protozoen innerhalb der Mikroplanktonfraktion benutzt worden. Dabei ist die von SIEBURTH *et al.* (1978) vorgeschlagene Definition des Mikrozooplanktons (Zooplankton-Organismen mit einer Zell- oder Körpergröße zwischen 20-200 μm) insofern modifiziert angewendet worden, als daß zum einen die Metazoen dieser Größenklasse nicht berücksichtigt wurden und zum anderen die heterotrophen Organismen des Nanoplanktons (2-20 μm) mit einbezogen wurden. Die Abtrennung der Organismen im Größenbereich des Nanoplanktons kann nur durch einen weiteren Fraktionierungsschritt erfolgen. Auf diesen Vorgang wurde verzichtet, da dies sehr wahrscheinlich mit hohen Verlusten, vornehmlich innerhalb der Gruppe der aloricate Ciliaten, verbunden wäre. Ein wesentlicher Vorteil der Serial-Dilution-Methode liegt gerade darin begründet nur wenig manipulativ auf die zu untersuchende Mikrozooplankton-Population einzuwirken.

Hinsichtlich der Zusammensetzung der Mikrozooplankton-Populationen, ergibt sich für die polaren und subpolaren Regionen ebenfalls die Situation, daß die Tintinnen nur geringe Anteile stellen. In vielen der vergleichsweise wenigen Untersuchungen in den hohen Breiten beider Hemisphären werden, wie auch in der vorliegenden Arbeit, die Mikrozooplankton-Populationen durch aloricate, oligotriche Ciliaten und durch heterotrophe Dinoflagellaten dominiert, während in den meisten Fällen Vertreter anderer Protozoen-Taxa (Radiolarien, Foraminiferen) und die Metazoen unterrepräsentiert sind (TIBBS 1967, TANIGUCHI 1984, PARANJAPÉ 1987, 1988, 1990, AUF DEM VENNE 1990, ANTIA 1991, KLÖSER 1991, SCHAREK 1991). Aus Untersuchungen in temperierten Regionen und in Schelfgebieten ist allerdings bekannt, daß dort die Tintinnen höhere Anteile an den Mikrozooplankton-Populationen besitzen können (BURKILL 1982, VERITY 1986a,b). Dies kann dem allgemeinen Trend zugeordnet werden, daß die Mikrozooplankton-Bestände in diesen Regionen höher sind, als in den polaren bzw. ozeanischen Domänen (SIEBURTH 1979).

Die in dieser Arbeit für das Europäische Nordmeer und die polaren und subpolaren Breiten des atlantischen Sektors des Südpolarmees ermittelten Mikrozooplankton-Bestände zeigen eine gute Übereinstimmung zu den in der Literatur gegebenen Werten. Im Europäischen Nordmeer beliefen sich die ermittelten Mikrozooplankton-Biomassen auf Werte zwischen 0.84 bis 7.84 $\text{mg C}\cdot\text{m}^{-3}$ (gemittelt über die Beprobungstiefe), während im Südpolarmeer die angetroffenen Mikrozooplankton-Biomassen zwischen 1.07 bis 13.42 $\text{mg C}\cdot\text{m}^{-3}$ schwankten und damit leicht höhere Werte annahmen, als sie im nördlichen Untersuchungsgebiet festgestellt werden konnten. In einer tabellarischen Aufstellung von Mikrozooplankton-Biomassen beider Polarregionen faßt PARANJAPÉ (1988) die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zusammen und gibt Werte von 0.16 bis 21.4 $\text{mg C}\cdot\text{m}^{-3}$ an. In einer sehr detaillierten Untersuchung der Phytoplankton-Entwicklung im östlichen Weddellmeer beschreibt SCHAREK (1991) auch die Biomasse des Mikrozooplanktons und ermittelt im nördlichen Bereich ihres Untersuchungsgebietes (der dem südlichen Untersuchungsgebiet von ANT X/6

nahezu entspricht) im Frühjahr Mikrozooplankton-Biomasse-Werte von 1.8 bis 3.2 mg C*m⁻³. Untersuchungen im Sommer und Frühherbst in der östlichen Grönland See ergaben Mikrozooplankton-Bestände von 1.0 bis 4.7 mg C*m⁻³ (ANTIA 1991).

Wenngleich bereits KAHL (1935) darauf hinweist, daß aloricate, oligotriche Ciliaten wegen ihrer flexiblen Zellform durchaus in der Lage sind Nahrungspartikel aufzunehmen, die ihrer eigenen Zellgröße entsprechen und dies von SMETACEK (1981) mit Fotografien von Ciliaten mit großen, ingestierten Algenzellen belegt wird, kann davon ausgegangen werden, daß heterotrophe Dinoflagellaten bei der Beweidung von großvolumigen bzw. wegen vorhandener Zellwandauswüchse sperriger Phytoplanktonzellen (z.B. Diatomeen) im Vorteil sind. Athecate, heterotrophe Dinoflagellaten sind in der Lage große Beutezellen zu umschließen oder durch die Ausbildung von speziellen Zellorganellen ("peduncle") zu durchstoßen und auszusaugen (SPERO 1982, GAINES und ELBRÄCHTER 1987). Thecate Formen bilden Pseudopodien aus und bedienen sich der extrazellulären Verdauung (GAINES und TAYLOR 1984). Diese von ihrer eigenen Zellgröße unabhängigen Ernährungsweisen versetzen die heterotrophen Dinoflagellaten in die Lage, ein sehr viel weiteres Nahrungsgrößenspektrum zu nutzen als Ciliaten (SUTTLE *et al.* 1986, JACOBSON und ANDERSON 1986), deren Nahrungsgröße weitestgehend durch die Größe ihres Zytostoms bzw. den Durchmesser der Loricae bestimmt wird. Aus diesen Gründen wäre es denkbar, daß heterotrophe Dinoflagellaten in einem Mikrozooplankton-Bestand vermehrt zu finden sind, wenn Diatomeen im Phytoplankton häufig vertreten sind. ANTIA (1991) konnte in ihren Untersuchungen diese beschriebene Vergesellschaftung nachweisen und verweist auf zwei weitere Arbeiten, die diesen Zusammenhang verdeutlichen (TAYLOR 1987, LESSARD 1991).

In der vorliegenden Arbeit konnten jedoch für die heterotrophen Dinoflagellaten in den Untersuchungen im Europäischen Nordmeer oft nur geringe Anteile am Mikrozooplankton-Bestand festgestellt werden, wenngleich das Phytoplankton durch Diatomeen dominiert war. Allerdings beschreiben auch LESSARD *et al.* (1988) eine ähnliche Situation für die Chesapeake Bay, wo ein vermehrtes Auftreten von heterotrophen Dinoflagellaten erst nach dem Zusammenbruch der Diatomeen-Frühjahrs-Blüte zu verzeichnen war. LESSARD (1991) vertritt die Meinung, daß dieses Sukzessionsschema anscheinend auch für polare und temperierte Breiten gilt. LESSARD und RIVKIN (1986) beschreiben eine Frühjahrs-Situation im McMurdo Sound (Antarktis), in der 97% der Protozoen-Biomasse von heterotrophen Dinoflagellaten gestellt wurden. Zu dieser Zeit war der Chl.*a*-Bestand < 1 µg*l⁻¹ und die Autoren postulieren, daß die heterotrophen Dinoflagellaten sich zu dieser Zeit von Bakterien oder anderen Bakterivoren ernährten.

Für die Untersuchungen im Südpolarmeer läßt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von heterotrophen Dinoflagellaten und Diatomeen herstellen. Vor allem im Bereich der Polar-Fronten-Zone wird das Phytoplankton oft mit Anteilen von deutlich über

50 % von Diatomeen dominiert. Als wichtigste Vertreter sind hier v.a. *Fragilariopsis* (syn. *Nitzschia*) *keruelensis* und *Nitzschia* spp. zu nennen, nicht selten ergänzt durch Vertreter der Gattungen *Corethron*, *Thalassiosira* und *Chaetoceros*. In diesem Bereich des Untersuchungsgebietes sind dann auch stets hohe Abundanzanteile der heterotrophen Dinoflagellaten am Protozoen-Bestand festgestellt worden. Im Bereich des Antarktischen Zirkumpolarstromes hatten die Diatomeen zunächst nur geringe Abundanzanteile am Phytoplankton, die zum Ende der Untersuchungen deutlich anstiegen. Zusammen mit dieser Entwicklung konnte auch eine Zunahme der heterotrophen Dinoflagellaten im Mikrozooplankton-Bestand, z.T. mit Anteilen von mehr als 50%, verzeichnet werden.

Als eines der grundlegenden Phänomene meeresökologischer Fragestellungen, kann die sowohl räumliche als auch zeitliche Koexistenz von potentiellen Beuteorganismen und deren Konsumenten angesehen werden. Diese Tatsache ist durch eine große Anzahl von Untersuchungen auf den unterschiedlichsten Raum- und Zeitskalen belegt (allgemeine Abhandlungen darüber z.B. in CUSHING und WALSH 1976, PARSONS *et al.* 1984 oder LONGHURST 1981). In einer Vielzahl von Untersuchungen sowohl in polaren und temperierten, als auch in ozeanischen und neritischen Regionen konnte eine enge Kopplung des Nahrungsvorkommens und der Mikrozooplankton-Grazer dann festgestellt werden, wenn hohe Phytoplankton-Konzentrationen in der euphotischen Zone zu verzeichnen waren (BURKILL 1982, PARANJAPPE *et al.* 1985, SANDERS 1987, MONTAGNES *et al.* 1988, PARANJAPPE 1988, ANTIA 1991, DOLAN und COATS 1991). In der vorliegenden Arbeit wurden in den beiden Untersuchungsgebieten hinsichtlich der Korrelation zwischen dem Vorkommen von Phytoplankton und Mikrozooplankton zwei unterschiedliche Situationen angetroffen:

In den Untersuchungen während M17/1 und den Untersuchungen im Bereich der Polar-Fronten-Zone während ANT X/6, ergab sich in den meisten Fällen eine enge Kopplung zwischen den höheren Phytoplankton-Konzentrationen im oberen Bereich der euphotischen Zone und den Mikrozooplankton-Bestandsdichten in diesem Bereich der Wassersäule (vergl. Abb. 8 und Abb. 9 bzw. Abb. 15.1 und Abb. 18.1). Die Koexistenz von Nahrungspartikeln und Konsumenten bei dieser Gruppe von Organismen, die im wörtlichen Sinne als "Plankton" zu bezeichnen sind, ist meist die Folge von dem parallelen Zusammenwirken abiotischer Faktoren wie Licht, Strömungen, Temperatur, Salzgehalt und Nährstoffkonzentrationen und biotischer Faktoren wie Fortpflanzungsraten oder interspezifische Rückkopplungsmechanismen. Neben diesen hydrographischen (z.B. Stratifizierung der Wassersäule), physikalischen (z.B. Licht) und biotischen Faktoren, die zu einer Konzentrierung sowohl des Phytoplanktons als auch des Mikrozooplanktons führen können, verweisen STOECKER *et al.* (1984) auf einen weiteren biotisch bedingten Faktor, der in ihren Untersuchungen zu einer kleinskaligen, räumlichen Korrelation zwischen planktischen Ciliaten und deren Futterorganismen führte. Über zwei Tage verfolgten sie in einem flachen Ästuar die vertikale

Verteilung von Tintinnen und ihren Beuteorganismen (Dinoflagellaten). Es wurde stets eine parallele, vertikale Verteilung der Futterpartikel und der Konsumenten festgestellt. Die parallele Vertikal-Verteilung als Folge von turbulenten Vermischungsvorgängen hielten die Autoren aufgrund der vorgefundenen meteorologischen Bedingungen für unwahrscheinlich. Vielmehr postulieren sie, daß sich die Freßfeinde durch angepaßtes Such-Schwimmen stets im Bereich mit höherer Nahrungsdichte aufhalten, wie dies auch in ähnlicher Weise für Copepoden beobachtet werden kann (PRICE und PAFFENHÖFER 1985). Dennoch kann bei größeren Zooplanktonorganismen diese Koexistenz zumindest auf bestimmten Raum- und Zeitskalen, gerade aufgrund ihres Wanderungsvermögens aber auch wegen ihrer längeren Entwicklungsphasen unterbrochen sein (STEEMANN NIELSEN 1937, BAINBRIDGE 1953, MACKAS und BOYD 1979).

Eine andere Situation ergab sich während ANT X/6 vornehmlich für die Stationen im Bereich des Antarktischen Zirkumpolarstromes, an denen die Phytoplankton-Biomasse keine auffälligen Maxima im Vertikalprofil aufwies. In diesen Fällen waren auch kaum Übereinstimmungen mit den Tiefenprofilen der Mikrozooplankton-Bestände zu erkennen. Untersuchungen im Sommer und im Herbst im Europäischen Nordmeer belegen diese fehlende Beziehung zwischen dem Phytoplankton und dem Mikrozooplankton, wenn sich das Phytoplankton mit relativ geringeren Konzentrationen eher einheitlich über die Wassersäule verteilt (PUTT 1990).

Wie auch in STOECKER *et al.* (1984) bereits angemerkt, kann es durch kleinskalige Kopplung von Mikrozooplankton und dessen Nahrungspartikeln zu einer Unterschätzung der Mikrozooplankton-Wachstumsraten und des Grazing-Einflusses auf das Phytoplankton kommen, wenn diese Raten nur aus durchschnittlichen Bestandsverteilungen ermittelt werden sollen. Desweiteren führt diese Kopplung dazu, daß potentiell omnivore, größere Grazer durch diese Biomasseakkumulation einen Vorteil erfahren und damit die Struktur und Stabilität von Nahrungsnetzen von sehr kleinskaligen Strukturen abhängig sein kann.

5.2 Die Freßaktivität des Mikrozooplanktons in polaren und subpolaren, ozeanischen Regionen

Bevor im Folgenden auf die Auswirkungen des Mikrozooplankton-Grazings auf das pelagische Nahrungsnetz eingegangen wird, soll zunächst eine kritische Betrachtung der angewendeten Serial-Dilution-Methode vorgenommen werden. Die Anwendbarkeit der Methode beruht auf einer Reihe von Grundvoraussetzungen (siehe 3.7.1), die hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Ausgang von Dilution-Experimenten diskutiert werden sollen. Bei den Untersuchungen im Südpolarmeer wurde der Ausgang der Experimente durch drei unabhängig voneinander angewendete Analyseverfahren verfolgt. Dabei ging es zum einen darum festzustellen, ob die

zusätzlich zur Chl.*a*-Bestimmung verwendeten Verfahren (Epifluoreszenz-Mikroskopie und Durchfluß-Zytometrie) für die analytische Auswertung von Dilution-Experimenten in diesem durch relativ geringe Plankton-Konzentrationen gekennzeichneten Untersuchungsgebiet in geeigneter Weise eingesetzt werden können, zum anderen sollte versucht werden genauere Information über die trophischen Wechselwirkungen innerhalb der inkubierten Gesamtpopulationen zu erhalten.

5.2.1 Kritische Betrachtung der Serial-Dilution-Methode, Vorteile, Grenzen und Möglichkeiten

Alle nahrungsökologischen Untersuchungen an natürlichen Mikrozooplankton-Beständen werden dadurch erschwert, daß zum einen die meist sehr kleinen und fragilen Konsumenten eine selektive Manipulation zumindest erschweren, wenn nicht gar unmöglich machen und zum anderen sich zumindest teilweise die Konsumenten und ihre Nahrung in der gleichen Plankton-Größenfraktion befinden. Die Anwendung sog. indirekter Methoden, die die nahrungsökologischen Fragestellungen nicht an den Mikrozooplankton-Freiland-Populationen selbst untersuchen, bieten generell die Möglichkeit die dargestellten Schwierigkeiten, wie sie sich bei der Untersuchung natürlicher Bestände ergeben, zu umgehen.

Dabei besteht sich zum einen die Möglichkeit Laborbefunde einzelner, relativ robuster, gut kultivierbarer Organismen auf natürliche Bestände zu übertragen (z.B. HEINBOKEL 1978a, RASSOULZADEGAN und ETIENNE 1981 oder STOECKER *et al.* 1983). Beispielsweise wird das Wachstum und die Grazingraten von Tintinnen unter kontrollierten Laborbedingungen mit verschiedenen Futterorganismen untersucht (HEINBOKEL 1978a). Zum anderen können Extrapolationen und Korrelationen aus und mit anderen Felddaten vorgenommen werden (z.B. TAKAHASHI und HOSKINS 1978 oder SHELDON *et al.* 1986). Der Vorteil dieser Verfahren besteht darin, daß sie alle Erkenntnisse erbringen, ohne den untersuchten Vorgang im Freiland selbst zu stören (nicht-invasiv) und sich dadurch bedingte Fehler (z.B. durch Verluste bei der Probenahme) für die ermittelten Raten ausschließen lassen. Die Nachteile bestehen darin, daß oft nur qualitative Aussagen getroffen werden können (z.B. Korrelation zwischen dem Auftreten bestimmter Konsumenten und dem Rückgang potentieller Nahrungsorganismen, z.B. SMETACEK 1981) bzw. Laborbefunde und Abschätzungen aus anderen Meßparametern oder Bilanzierungen nur bedingt *in situ* Verhältnisse widerspiegeln.

Dieser Gruppe von Untersuchungsverfahren stehen die sog. direkten Methoden gegenüber, die die nahrungsökologischen Untersuchungen des Mikrozooplanktons an den natürlichen Populationen selbst vornehmen. Diese Untersuchungsverfahren lassen sich in zwei Abteilungen gliedern:

Zum einen sind dies Verfahren, die Freiland-Populationen in unterschiedlichem Maße manipulieren und verändern, und mittels Inkubationen quasi *in situ* Verhältnisse wiedergeben. Es handelt sich dabei z.B. um Methoden, die eingebrachte sog. Tracer verfolgen, wobei es sich um meist Fluoreszenz-Farbstoff markierte, inerte oder biogene (z.B. HEINBOKEL und BEERS 1979, ALBRIGHT *et al.* 1987 oder RUBLEE und GALLEGOS 1989) oder um Radioisotopen-markierte Nahrungspartikel handelt (LESSARD und SWIFT 1985). Beide Methoden liefern quantitative Ergebnisse und sind sehr empfindlich, wobei Nachteile darin bestehen, daß selektive Partikelaufnahme der Konsumenten die Ergebnisse beeinflussen können. So können z.B. eingebrachte inerte Partikel gegenüber natürlichen Nahrungspartikeln der gleichen Größe von den Grazern in vermindertem Umfang aufgenommen werden (STOECKER *et al.* 1986), wodurch die echte Aufnahmerate unterschätzt würde.

Ein weiteres Verfahren beruht auf der Anwendung von Inhibitoren. Dabei wird in Parallel-Ansätzen jeweils in einem Ansatz entweder das Wachstum der Nahrungsorganismen unterdrückt oder die Nahrungsaufnahme der Konsumenten verhindert. Die Auswertung erfolgt über einen Vergleich der Ergebnisse der Parallel-Ansätze. Die Verwendung von Inhibitoren ist vor allem beim Grazing auf prokaryontische Organismen erfolgreich eingesetzt worden (z.B. CAMPBELL und CARPENTER 1986), hat aber den Nachteil, daß die eingesetzten Substanzen oft nicht sehr spezifisch wirken bzw. unerwünschte Effekte bei den Konsumenten hervorrufen können (SANDERS und PORTER 1986). So bewirkte das eingesetzte Antibiotikum Penicillin (unterdrückt die Zellwandbildung bei Bakterien und damit deren Vermehrung) in den Untersuchungen von SANDERS und PORTER (1986), daß *Paramecium caudatum* die Aufnahme der Bakterien einstellte, während die zur Inhibition der Grazer eingesetzten Substanzen (Cycloheximid und Chloramphenicol) die Grazingrate der untersuchten Protozoen nur bedingt hemmte.

Als weiteres Verfahren liefern größenfraktionierte Inkubationen zwar quantitative Ergebnisse, trennen aber die Nahrungspartikel und die Konsumenten nur unvollständig, können somit nicht durch eine echte Kontrolle berichtigt werden und verändern durch die meist nötigen Aufkonzentrierungsverfahren nachhaltig die Populationszusammensetzung (z.B. VERITY 1986a), in dem sie vornehmlich Verluste bei den aloricate Ciliaten zur Folge haben (GIFFORD 1985).

In die Gruppe der quasi *in situ* Inkubationsverfahren gehört auch die Serial-Dilution-Methode, die sich aus dieser Gruppe etwas heraushebt, da sie eine Anzahl von Vorteilen bietet: sie minimiert die manipulativen Maßnahmen an den natürlichen Populationen, ermöglicht quantitative Aussagen über die grazingbedingte Phytoplankton-Mortalität und bietet in dem selben Versuchsansatz gleichzeitig die Möglichkeit, die Phytoplankton-Wachstumsrate zu ermitteln (z.B. LANDRY und HASSETT 1982, GALLEGOS 1989, PARANJAPPE 1990). Die Nachteile bestehen darin, daß Verluste der Mikrozooplankton-Population trotzdem nicht ausgeschlossen werden können und eine Reihe theoretischer Annahmen getroffen werden

müssen, deren Überprüfbarkeit im Bedarfsfall schwierig sein kann. Auf die Auswirkungen dieser Annahmen, wenn sie im Einzelfall nicht zutreffen wird später ausführlich eingegangen.

Dieser Gruppe der quasi *in situ* Verfahren steht ein echtes *in situ* Verfahren gegenüber, das ohne Beeinflussung der untersuchten Populationen auskommt und auf der Messung von Pigmenten in den Nahrungspartikeln beruht, die durch den Grazing-Prozeß eine chemische Veränderung erfahren. Der Nachteil dieser Methode besteht darin, daß über den quantitativen Zusammenhang zwischen dem Ausgangsprodukt Chl.*a* und den Phaeopigmenten als Endprodukt des Verdauungsprozesses noch keine Klarheit besteht, da die Endprodukte z.B. auch durch andere Prozesse entstehen können (Photooxidation) oder die "Endprodukte" so schnell und vollständig verdaut werden, daß sie erst gar nicht akkumulieren (z.B. KLEIN *et al.* 1986, BARLOW *et al.* 1988, LITAKER *et al.* 1988, ANTIA 1991). Andererseits zeigen die Ergebnisse von SOOHOO und KIEFER (1982) und von WELSCHMEYER und LORENZEN (1985b), daß sich durch die Grazingaktivität des Mikrozooplanktons, ähnlich wie durch das Grazing des Mesozooplanktons (z.B. WELSCHMEYER und LORENZEN 1985a) Phaeopigmente als grazingbedingte Abbauprodukte des Chl.*a* nachweisen lassen. Dies bedeutet aber, daß die Phaeopigment-Konzentrationen in der Wassersäule nicht auf die Grazingaktivität nur einer Zooplankton-Größenfraktion zurückzuführen sind und sich daher Abschätzungen der Grazingaktivität einzelner Zooplankton-Größenklassen anhand der in der Wassersäule vorgefundenen Phaeopigment-Konzentrationen (LORENZEN 1967) nicht vornehmen lassen.

Nach diesem Vergleich mit anderen Methoden, die zur Ermittlung der Grazingaktivität des Mikrozooplanktons angewendet werden können, soll nun im Folgenden auf die Annahmen, die der Dilution-Methode zugrundeliegen näher eingegangen werden. Es soll diskutiert werden, inwiefern sie Einfluß auf das Ergebnis der Experimente haben können, wenn sie im Einzelfall nicht zutreffen. In diesem Zusammenhang müssen zunächst allerdings zwei generelle Einschränkungen, die sich aus der Anwendung der Dilution-Methode ergeben vorangestellt werden:

In der vorliegenden Arbeit ist die Dilution-Methode eingesetzt worden, um das Ausmaß der Herbivorie natürlicher Mikrozooplankton-Bestände zu ermitteln. Bei diesen Untersuchungen fanden andere potentielle Nahrungsquellen des Mikrozooplanktons (Bakterien, Detritus, andere heterotrophe Organismen) keine Berücksichtigung. Daraus ergeben sich zwar keine Konsequenzen für die ermittelten Raten dieser Untersuchung, es bleibt aber zu bedenken, daß mit diesen Ergebnissen nur ein Ausschnitt der trophischen Interaktionen des Mikrozooplanktons im pelagischen Nahrungsnetz beleuchtet werden kann. Die Untersuchungen anderer Nahrungsquellen des Mikrozooplanktons bzw. der Protozoen sind häufig auch unter der Verwendung der Dilution-Methode vorgenommen worden (LANDRY *et al.* 1984, CAMPBELL und CARPENTER 1986, TREMAINE und MILLS 1987, GEIDER 1989).

Desweiteren wird durch die Vorfraktionierung (100 bzw. 200 μm) der Proben zum einen erreicht, daß nur die gewünschte (Mikro-) Zooplanktonfraktion in den Versuchsansätzen vorhanden ist, was zum anderen aber in den meisten Fällen gleichzeitig bedeutet, daß die potentiellen Freßfeinde der untersuchten Zooplankton-Fraktion ausgeschlossen werden. In den Versuchsansätzen wird der Grazer-Bestand demnach nicht (wie *in situ*) durch seine Freßfeinde dezimiert und die ermittelten Grazingraten des Mikrozooplanktons (auf das Phytoplankton) müssen daher als potentielle bzw. maximale Werte im Vergleich zu den *in situ* Verhältnissen bewertet werden.

Die erste Annahme, die bei der Einführung der Methode von LANDRY und HASSETT (1982) zugrunde gelegt wurde besagt, daß die individuelle Wachstumsrate des inkubierten Phytoplanktons nicht durch die Anwesenheit (bzw. Abwesenheit) anderer Phytoplanktonzellen, d.h. also durch die Phytoplanktondichte beeinflußt werden darf und die Wachstumsrate damit unabhängig von der Verdünnung konstant bleibt. Daraus ergibt sich, daß für die Zeitdauer des Experiments kein wachstumsbeeinflussender Faktor (vornehmlich also anorg. Nährstoffe, Licht, Temperatur aber auch Spurenmetalle und Vitamine) limitierenden Einfluß auf das Phytoplanktonwachstum haben darf.

Da es sich bei der Dilution-Methode, wie weiter oben bereits dargestellt, um eine quasi *in situ* Methode handelt, wird ein die *in situ* Phytoplankton-Wachstumsrate verändernder Einfluß von Temperatur und Licht dadurch minimiert, daß die Inkubationen entweder "simulated *in situ*" (die Proben werden durch geeignete Maßnahmen in etwa dem Licht- und Temperaturklima ausgesetzt, wie sie in der Probenahmetiefe vorherrschen) oder *in situ* durchgeführt werden. Unter der Voraussetzung, daß sowohl die Temperatur als auch das Licht *in situ* keine limitierenden Auswirkungen auf das Phytoplankton-Wachstum haben, kann auch aufgrund der Inkubationsbedingungen ein Einfluß dieser Faktoren weitestgehend ausgeschlossen werden. Generell würde aber bei Limitierung durch einen wachstumsbeeinflussenden Faktor (ausgenommen Temperatur und Licht, somit vornehmlich Nährstoffe) die Phytoplankton-Wachstumsrate (k) im unverdünnten Ansatz (d.h. mit der höchsten Phytoplanktondichte) am stärksten erniedrigt werden. Dadurch wird die Steigung der Regressionsgeraden, die als Maß für den Grazeinfluß (g) auf die Phytoplankton-Wachstumsrate herangezogen wird steiler und somit der Grazeinfluß überschätzt.

Der Einfluß eines limitierenden Faktors hat in diesem Zusammenhang außerdem direkte Auswirkungen auf eine weitere Grundvoraussetzung der Dilution-Methode. Das Wachstum der Phytoplankton-Population muß durch eine Exponential-Funktion (siehe 3.7.1) beschrieben werden können. Wird ein wachstumslimitierender Einfluß wirksam, wird das exponentielle Wachstum gedämpft und die Konzentrationsänderung des Phytoplanktons folgt nur noch einer typischen logistischen Wachstumsfunktion, wobei nach der anfänglichen exponentiellen Zunahme bei Eintritt der Limitierung nur noch eine verlangsamte Zunahme erfolgt, bis dann bei fortschreitender Limitierung kein Wachstum mehr festgestellt werden kann (stationäre Phase der

Wachstumsfunktion). In Modell-Berechnungen hat TRENKEL (1992) die Auswirkungen von logistischem Wachstum gegenüber exponentiellem Wachstum auf den Ausgang von Dilution-Experimenten untersucht. Die Autorin konnte zeigen, daß mit steigendem Ausmaß der Limitierung (die beschreibende Funktion entfernt sich immer weiter von der Exponentialfunktion) sowohl der Phytoplankton-Wachstums-Koeffizient (k) als auch der Grazing-Koeffizient (g) zunehmend überschätzt werden. Desweiteren konnte sie zeigen, daß anhand der resultierenden Geraden (in der grafischen Darstellung der Ergebnisse) bei nicht-exponentiellem Wachstum des Phytoplanktons der Einfluß der Hemmung nicht erkannt werden kann und sie in jedem Fall durch eine Lineare Regression beschrieben werden kann.

In diesem Zusammenhang ist also eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen ein vorrangig zu beachtender Aspekt. Bereits in den Untersuchungen von LANDRY und HASSETT (1982) und einer Reihe weiterer Feldversuche mit der Dilution-Methode (BURKILL *et al.* 1987, PARANJAPE 1987, GALLEGOS 1989 und PARANJAPE 1990) schlossen die Durchführenden eine Nährstofflimitation dadurch aus, daß sie den Versuchsansätzen zusätzliche Nährstoffe hinzufügten. Diese Vorgehensweise bringt mehrere Nachteile mit sich, da durch die Zugabe von Nährstoffen im Überschuß die *in situ* Wachstumsrate des Phytoplanktons beeinflußt werden kann und so die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die *in situ* Populationen zumindest fragwürdig ist. Aussagen über die trophodynamischen Beziehungen zwischen den Nahrungsorganismen und den Konsumenten können damit nicht mehr getroffen werden. Desweiteren gibt es Hinweise darauf, daß im Überschuß zugeführte Nährstoffe zu Verlusten (Vergiftung) vornehmlich von oligotrichen Ciliaten, der oft dominanten Gruppe innerhalb des Mikrozooplanktons führen können. (LANDRY und HASSETT 1982, GIFFORD 1988). Zur Umgehung der Problematik der zusätzlichen Nährstoffgabe schlugen LANDRY und HASSETT (1982) vor, besonders bei Untersuchungen in oligotrophen Regionen, soweit es technisch durchführbar ist, Dialyseschläuche als Inkubations"gefäße" zu benutzen und diese möglichst *in situ* zu inkubieren. LANDRY *et al.* (1984) benutzten sog. Diffusionskammern, die über eine $0.2\ \mu\text{m}$ Nucleopore-Membran Kontakt zum Umgebungsmedium gewährleisteten. Diese Vorgehensweisen haben den Vorteil, daß das Phytoplankton unter den vorherrschenden Bedingungen wächst und eine natürliche Versorgung mit Nährstoffen (auch mit Spurenmetallen und Vitaminen) sichergestellt ist.

Die *in situ* Inkubation in Dialyse-Schläuchen (LANDRY und HASSETT 1982) bzw. in Diffusionskammern (LANDRY *et al.* 1984) schließt aber eine mögliche Nährstoff-Limitierung des Phytoplankton-Wachstums bei vorhandenen niedrigen Nährstoff-Konzentrationen nicht unbedingt aus. In zwei Arbeiten wird auf Auswerteverfahren bzw. methodische Verfahrensweisen hingewiesen, wie eine möglicherweise vorliegende Nährstoff-Limitierung des Phytoplankton-Wachstums dennoch überprüft werden kann. GALLEGOS (1989) bediente sich eines mathematischen Verfahrens, in dem die Autorin die Lineare Regression über alle

Verdünnungsstufen mit der Linearen Regression, die sich unter Weglassen der Werte für die unverdünnte Verdünnungsstufe (potentiell deutlichste Veränderung der Wachstumsrate bei Nährstoff-Limitierung) ergibt, miteinander verglich. In keinem ihrer Fälle waren die resultierenden, beschreibenden Parameter der beiden Linearen Regressionen statistisch signifikant unterschiedlich. PARANJAPE (1990) verlängerte die Inkubationszeit nach einer Beprobung nach 24 h um weitere 24 h und verglich die Ergebnisse miteinander. In zwei Fällen bei denen die anfänglichen NO_3 -Konzentrationen bei 0.77 bzw. 0.29 $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ NO_3 lagen unterschieden sich die Geradencharakteristika signifikant voneinander, was der Autor auf Nährstofflimitierung zurückführte.

In der vorliegenden Arbeit wurde auf eine zusätzliche Gabe von Nährstoffen verzichtet. Stets durchgeführte Kontrollen der Nährstoff-Konzentrationen in den Versuchsansätzen ergaben, daß bei den Experimenten während M17/1 die Nitrat-Konzentrationen mit Ausnahme einer Station stets $> 3 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ NO_3 waren (Ausnahme ca. 1.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ NO_3). Während der Untersuchungen im Südpolarmeer wurde in den Versuchsansätzen in keinem Fall weniger als 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ NO_3 gemessen. Anhand der festgestellten Nährstoffkonzentrationen für die Experimente der vorliegenden Arbeit kann davon ausgegangen werden, daß in keinem der durchgeführten Freßversuche der Ausgang der Experimente durch Nährstoff-Limitierung des Phytoplankton-Wachstums beeinflußt worden war.

Eine weitere der Methode zugrundeliegende Annahme fordert, daß die Wahrscheinlichkeit einer Phytoplanktonzelle gefressen zu werden nur von der Zusammentreffrate zwischen der Phytoplanktonzelle und den Konsumenten abhängig ist (vergl. 3.7.1), d.h. immer wenn ein Konsument auf einen Nahrungspartikel trifft wird dieser auch durch den Konsumenten aufgenommen. Durch die Verdünnung der Proben folgt daraus, daß trotz konstanter Freßrate der individuellen Konsumenten der gemeinsame Freßdruck der Konsumenten-Population bei zunehmender Verdünnung (weniger Konsumenten) abnimmt, da mit zunehmender Verdünnung auch die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Nahrungspartikeln und Konsumenten geringer wird. Die Reduktion des gemeinsamen Freßdrucks der Konsumenten-Population (für die Zeitdauer des Experiments wird von einem konstanten Bestand ausgegangen) ist damit linear von den eingestellten Verdünnungen abhängig. Aus dieser Forderung sind eine Reihe von Konsequenzen abzuleiten: Zum einen darf die Nahrungsaufnahme der Konsumenten bei der vorliegenden Nahrungskonzentration nicht im Sättigungsbereich ("saturated-feeding"-Kinetik) liegen und zum anderen darf die Nahrungsdichte in den Proben nicht unterhalb eines Schwellenwertes liegen (sog. threshold-feeding), unter dem die Konsumenten aus energetischen Gründen (der Aufwand an Nahrung zu gelangen ist höher als der Energiegewinn durch die Nahrung) die Nahrungsaufnahme einstellen. In beiden Fällen ist somit die Wahrscheinlichkeit einer Phytoplanktonzelle gefressen zu werden, nicht mehr nur auf die Zusammentreffrate zwischen den Nahrungspartikeln und Konsumenten zurückzuführen.

Die theoretisch ableitbaren Auswirkungen auf den Ausgang von Dilution-Experimenten und die sich daraus ergebenden Darstellungsformen der Ergebnisse für die beiden Varianten ("saturated-feeding"-Kinetik und "threshold-feeding"-Kinetik) der nicht linear von der Nahrungskonzentration abhängigen Freßkinetik der Konsumenten-Population sind in Abb. 22 dargestellt.

Für den Fall, daß die Nahrungsaufnahme der Konsumenten in den weniger verdünnten Verdünnungsstufen (d.h. mit relativ höherer Nahrungsdichte) im Sättigungsbereich liegt ("saturated-feeding"-Kinetik), ergibt sich für diese Verdünnungsstufen ein konstanter Grazing-Einfluß der Konsumenten-Population auf das Phytoplankton-Wachstum und die Ergebnisse für die "Apparent phytoplankton growth rate" dieser Verdünnungsstufen nehmen die gleichen Werte an (Werte der drei weniger verdünnten Verdünnungsstufen in dem unteren Beispiel der Abb. 22). Dieses "Abknicken der Werteverteilung" oberhalb einer bestimmten Nahrungsdichte bedingt bei der üblichen Auswerte-Methode der Dilution-Experimente (Lineare Regression über die Werte aller Verdünnungsstufen), daß sowohl die Steigung der resultierenden Geraden und damit der Grazingdruck der Konsumenten als auch der y-Achsenabschnitt, der den Phytoplankton-Wachstumskoeffizienten (k) repräsentiert, unterschätzt würden.

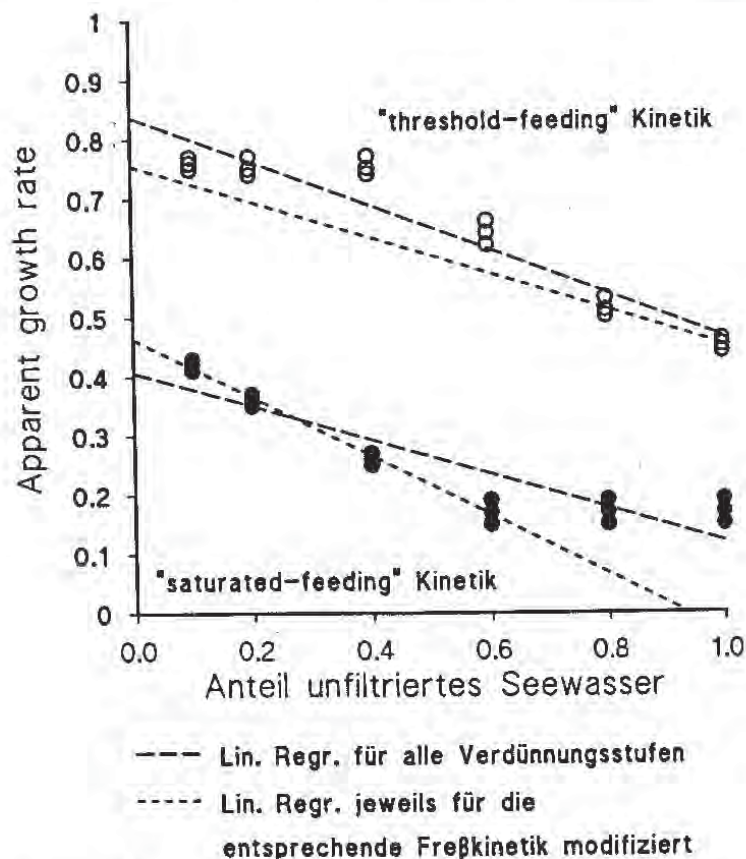


Abb. 22: Beispielhafte Darstellung der Werteverteilung in Serial-Dilution-Experimenten bei "threshold-feeding-Kinetik" bzw. "saturated-feeding-Kinetik" der Mikrozooplankton-Grazer. Die nicht-linear von der Phytoplankton-Konzentration abhängigen Aufnahmeraten durch das Mikrozooplankton haben Auswirkungen auf die resultierenden Geraden der Linearen Regressionen (siehe Text).

In dem anderen Fall ("threshold-feeding-Kinetik") stellen die Konsumenten unterhalb einer bestimmten Nahrungsdichte (Verdünnungsstufe) ihre Nahrungsaufnahme ein, d.h. das Phytoplankton-Wachstum wird nicht mehr durch das Grazing der Konsumenten beeinträchtigt und die Werte für die ermittelte "Apparent phytoplankton growth rate" bleiben unterhalb dieser Verdünnungsstufe konstant (Werte der drei höchsten Verdünnungen im oberen Beispiel der Abb. 22). Dieses "Abknicken der Werteverteilung" unterhalb einer bestimmten Nahrungsdichte würde bei der üblichen Auswertung der Dilution-Experimente (Lineare Regression über die Werte aller Verdünnungsstufen) dazu führen, daß sowohl der Grazing-Koeffizient (g) als der Phytoplankton-Wachstumskoeffizient (k) überschätzt würden.

Für beide theoretisch dargestellten Fälle, in denen die Aufnahmeraten der Konsumenten-Populationen eine nicht-lineare Abhängigkeit von der Nahrungskonzentration aufweisen, lassen sich Beispiele in der Literatur beschriebener, konkreter Untersuchungsergebnisse anführen.

GIFFORD (1988) erhielt für einige ihrer durchgeführten Grazingexperimente mit natürlichen Mikrozooplankton-Beständen bei der grafischen Darstellungen der Ergebnisse dieser Experimente Werteverteilungen, wie sie sich bei "threshold-feeding-Kinetik" der Mikrozooplankton-Konsumenten (theoretisch) ergeben können. Da weiterführende Untersuchungen nicht vorlagen, konnte die Autorin lediglich vermuten, daß die Ergebnisse ihrer Experimente durch "threshold-feeding-Kinetik" der Konsumenten beeinflusst waren. GALLEGOS (1989) konnte allerdings durch Modell-Berechnungen bereits nachweisen, daß die Form seiner Meßwert-Darstellungen zum weitaus überwiegenden Teil auf nicht-lineares Grazingverhalten mit Sättigungsfreßverhalten oberhalb seiner 50%-ig verdünnten Proben zurückzuführen war (das mitsimierte Anwachsen der Grazerpopulation hatte in keinem Fall signifikante Auswirkungen auf die "Geradenform").

Aus diesen Sachverhalten lassen sich einige wichtige Konsequenzen für das Versuchsprotokoll ableiten: Es ist in jedem Fall vorteilhaft eine größere Anzahl von Verdünnungsstufen anzusetzen, da aus der resultierenden Werteverteilung in der grafischen Darstellung der Ergebnisse von Dilution-Experimenten, Rückschlüsse auf vermeintliche Abweichungen von der geforderten linearen Freßkinetik möglich sind. Liegt in einem Untersuchungsgebiet die Vermutung nahe, daß die Grazerpopulation nahrungs-gesättigtes Freßverhalten zeigen könnte, ist es von entscheidender Bedeutung möglichst hohe Verdünnungen im Versuchsansatz zu berücksichtigen. Nur in den (hohen) Verdünnungsansätzen, in denen die Konsumenten-Population aufgrund der eingestellten Nahrungsdichte kein nahrungs-gesättigtes Freßverhalten zeigt, läßt sich der linear von der Nahrungskonzentration abhängige Einfluß des Grazings auf die Phytoplankton-Wachstumsrate korrekt ermitteln.

Liegt bei Betrachtung der Meßwerteverteilungen die Vermutung nahe, daß eine Abweichung vom linearen Freßverhalten vorliegt, läßt sich dies durch folgendes Verfahren testen. Die

Meßwerteverteilung wird unterteilt, indem die Meßwerte der Verdünnungsstufen in dem absteigenden Bereich der Werteverteilung und in die Meßwerten in dem "abgeknickten Bereich" der Meßwerteverteilung im Folgenden getrennt voneinander betrachtet werden. Für die Meßwerte im Bereich des absteigenden Teils wird erneut eine Lineare Regression berechnet, unterscheiden sich die Geradencharakteristika (y -Achsenabschnitt = k und Steigung = g) dieser Regression signifikant von denen der Regression für alle Meßwerte (das übliche Auswerteverfahren), ist von einem nicht-linearem Freßverhalten auszugehen. In diesem Fall schlägt GALLEGOS (1989) vor, die weiterführenden Berechnungen (siehe 3.7.1) auf der Basis der ermittelten Geradencharakteristika (y -Achsenabschnitt = k , Steigung = g) der Linearen Regression für die Meßwerte nur aus dem absteigenden Bereich der Meßwerteverteilung vorzunehmen.

Für den Fall, daß aufgrund der Meßwerteverteilung in der grafischen Darstellung der Ergebnisse von Dilution-Experimenten von "threshold-feeding-Kinetik" der Konsumenten auszugehen ist, wie es z.B. in den Untersuchungen von GIFFORD (1988) beschrieben wurde, schlägt die Autorin für die Auswertung derartiger Versuchsergebnisse folgendes Verfahren vor: Wiederum sind die Werte in dem absteigenden und in dem konstanten ("abgeknickten") Teil der Werteverteilung getrennt voneinander zu betrachten. Die Meßwerte im konstanten Teil der Meßwerteverteilung (die Konsumenten haben die Nahrungsaufnahme aufgrund der niedrigen Nahrungskonzentration eingestellt) repräsentieren die, nicht durch das Grazing beeinflusste, "echte" Phytoplankton-Wachstumsrate, die sich durch die übliche Auswertung aus dem y -Achsenabschnitt (= " k ") der Geraden der Linearen Regression ergeben würde. Aus diesem Grund sollen diese Werte auf die Ordinate übertragen werden (sie entsprechen " k "). Eine Lineare Regression dieser Werte und der Meßwerte der unverdünnten Proben wird als Grundlage für die weiterführenden Berechnungen (siehe 3.7.1) benutzt.

Beide dargestellten Verfahren sind nach EVANS und PARANJAPE (1992) nur eine mehr oder minder geeignete Vorgehensweise dem Problem der Berechnung der Phytoplankton-Wachstumsrate und der Grazingrate bei nicht-linearer Freßkinetik zu begegnen, da in beiden Verfahren die "korrigierten Auswertungen" wiederum auf der Grundlage von linearen Zusammenhängen zwischen den ausgewählten Meßwerten vorgenommen werden.

Anhand von Modell-Berechnungen konnten die Autoren aber zeigen, daß zwei verschiedene, angenommene nicht-lineare Freßkinetiken zur nachträglichen Simulierung eigener Ergebnisse von Dilution-Experimenten besser geeignet waren, als dies durch lineare Vorgänge beschreibbar gewesen wäre. Gleichzeitig mußte aber festgestellt werden, daß eine Entscheidung zwischen den beiden angenommenen nicht-linearen Freßkinetiken nicht getroffen werden konnte, woraus sich maßgebliche Konsequenzen für die Abschätzungen des Wachstums- und Grazing-Koeffizienten ergaben.

Aus diesen Ergebnissen werden zwei Tatsachen deutlich: Zum einen muß die Möglichkeit nicht-linearer Vorgänge unter bestimmten Konstellationen berücksichtigt werden, wobei lineare Zusammenhänge quasi als "Sonderfall" der nicht-linearen Vorgänge beschreibbar bleiben müssen. Zum anderen läßt sich eine Entscheidung, welches nicht-lineare Modell zugrunde gelegt werden muß nicht *a posteriori* aufgrund theoretischer Überlegungen treffen. Diese Entscheidung kann nur anhand der Ergebnisse begleitender Untersuchungen vorgenommen werden, die vornehmlich das Freßverhalten der Konsumenten bei niedrigen Nahrungskonzentrationen zum Inhalt haben.

Aufgrund der anzutreffenden Nahrungsdichte ist in eutrophen Regionen damit zu rechnen, daß für die betreffenden Mikrozooplankton-Populationen eher ein Sättigungsfreßverhalten zu vermuten ist. Die Tatsache, daß viele Ciliaten trotz vorhandener, höherer Nahrungskonzentrationen ihre Ingestionsrate nicht weiter steigern können (Sättigungsfreßverhalten), führen CAPRIULO und DEGNAN (1991) darauf zurück, daß der Aufbau und das Recycling von Nahrungsvakuolenmembranen limitierend auf die Ingestionsrate wirken kann.

In oligotrophen Untersuchungsgebieten ist hingegen eher mit "threshold-feeding"-Kinetik der Mikrozooplankton-Populationen zu rechnen. Allerdings verweist GALLEGOS (1989) darauf, daß die Möglichkeit besteht, daß die Mikrozooplankton-Populationen in oligotrophen Regionen an die vorherrschenden niedrigen Nahrungskonzentrationen mit nicht maximaler Aufnahmerate angepaßt sind. Damit kann es auch in diesen Regionen bei steigenden Nahrungskonzentrationen (und maximalen Ingestionsraten) zu Sättigungsfreßverhalten kommen.

Die quantitative Ermittlung der Herbivorie natürlicher Mikrozooplankton-Populationen durch Dilution-Experimente, wird in den meisten Fällen mit Chl.*a* als Analyseparameter vorgenommen. Diese Nutzbarmachung von Chl.*a* als Meßparameter für die Abschätzungen von grazingbedingter Phytoplankton-Mortalität und Phytoplankton-Wachstum, kann durch eine Reihe von Einflüssen mit Fehlern behaftet sein. In der Theorie zu diesen Experimenten wird davon ausgegangen, daß für die Zeitdauer der Versuche die Reduktion des Chl.*a*-Bestandes direkt auf die Grazingtätigkeit der Konsumenten zurückzuführen ist. Zumindest in Laboruntersuchungen mit Phytoplankton- und Protozoen-Kulturen konnte gezeigt werden, daß diese Annahme nicht unbedingt uneingeschränkt gelten muß. BARLOW *et al.* (1988) verglichen den Ausgang ihrer Grazingexperimente anhand von Chl.*a*-Analysen und Zellzählungen und stellten fest, daß durch die Berechnung der Freßraten mittels Chl.*a*-Analysen die zellzahlen-gebundenen Ingestionsraten unterschätzt werden können. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis könnte darin zu finden sein, daß ein Teil des bereits ingestierten Chl.*a* in den Nahrungsvakuolen der Konsumenten erhalten bleibt, so durch die Chl.*a*-Analyse nachgewiesen werden kann und fälschlicherweise dem Chl.*a*-Bestand zugerechnet wird, wenngleich die Phytoplanktonzellen bereits ingestiert worden waren.

In den letzten Jahren ist durch eine Vielzahl von Untersuchungen nachgewiesen worden, daß ca. 40% aller marinen oligotrichen Ciliaten, Chloroplasten aus ihrer Algennahrung im Zellinneren beherbergen (STOECKER 1987, STOECKER und SILVER 1990, eine Zusammenstellung in STOECKER 1991). Diese Chloroplasten werden nicht verdaut und sind weiterhin zur Photosynthese befähigt. Für eine Reihe von Ciliaten konnte nachgewiesen werden, daß diese nicht gut wachsen können wenn sie keine plastidenhaltige Nahrung vorfinden und die Chloroplasten bei fehlender Beleuchtung nicht zur Photosynthese befähigt sind (STOECKER *et al.* 1988a). Wie diese Hinweise belegen kann davon ausgegangen werden, daß die Ciliaten von den Photosynthese-Produkten der Chloroplasten profitieren und damit ihre Ernährungsweise als mixotroph zu bezeichnen ist (JONSSON 1987, STOECKER *et al.* 1988b, 1989, Putt 1990).

Inwiefern Mixotrophie unter den Ciliaten bzw. die Tatsache, daß Ciliaten Chl.a beinhalten einen Einfluß auf den Ausgang von Dilution-Experimenten (mit Chl.a als Analyseparameter) haben kann, ist bisher nicht untersucht worden. Zumindest theoretisch ist dieses aber nicht auszuschließen: Der Anteil des Chl.a, der in den Ciliaten enthalten ist, kann durch die Analyse nicht von "autotrophem" Chl.a unterschieden werden, was hauptsächlich darauf Einfluß hat, daß das "Ciliaten-Chl.a" keinem (exponentiellen) Wachstum unterliegt. Die eigenständige Vermehrung (Teilung) von Chloroplasten in Ciliaten ist bisher nicht beobachtet worden (STOECKER *et al.* 1988a, STOECKER und SILVER 1990). Desweiteren ist bekannt, daß die Ciliaten in der Lage sind die Chloroplasten auszutauschen bzw. zu ersetzen. Diese Vorgänge vollziehen sich im Bereich von Minuten bis Stunden (STOECKER und SILVER 1990) und würden sich in Bezug auf die Dilution-Theorie dahingehend auswirken, daß dem exponentiell anwachsenden Chl.a-Pool fortlaufend Chl.a entzogen wird. Als Folge hieraus würde die Phytoplankton-Wachstumsrate unterschätzt werden. Praktisch dürfte dieser Sachverhalt aber eher von untergeordneter Bedeutung sein, da der Anteil des "Ciliaten-Chl.a" am Chl.a-Gesamtbestand meist nur wenige Prozent (2-3%) beträgt (MCMANUS und FUHRMAN 1986).

Eine Ausnahme machen die Untersuchungen von PUTT (1990) im Europäischen Nordmeer, wo der Chl.a-Gehalt einer dominanten Strombidien-Art bis zu 24% des Chl.a-Gesamtbestandes ausmachen konnte. Aus dieser Untersuchung wurde aber auch deutlich, daß die phagotrophe Ernährungsweise der Ciliaten den Hauptanteil des Nahrungsbedarfes stellt, da nur max. 2.8% des körpereigenen Kohlenstoffs pro Stunde über die Photosyntheseleistung der Chloroplasten geliefert wurde.

In der vorliegenden Arbeit ist die Mixotrophie als besondere Ernährungsform nicht untersucht worden und es wird davon ausgegangen, daß der theoretisch mögliche Einfluß der Mixotrophie auf die ermittelten Phytoplankton-Wachstumsraten bzw. auf die Grazingraten des Mikrozooplanktons nur von untergeordneter Bedeutung war.

In Verbindung mit speziellen Auswerteverfahren (Durchfluß-Zytometrie, Mikroskopie, HPLC) (z.B. CUCCI *et al.* 1985) und dem Einsatz spezifischer Tracer (z.B. Fluoreszenzfarbstoffe) (CARON 1983, SHERR und SHERR 1983a,b) oder der Nutzbarmachung gruppenspezifischer Markersubstanzen (z.B. Pigmente) (BURKILL *et al.* 1987, ANTIA 1991) kann der Einsatz der Serial-Dilution-Methode in hohem Maße dazu beitragen, gezielte Untersuchungen spezieller Interaktionen im pelagischen Nahrungsnetz vorzunehmen. Trotz aller Einschränkungen und möglichen Fehlerquellen ist es bisher durch keine andere Untersuchungsmethode gelungen, die Freßaktivität natürlicher Mikrozooplankton-Bestände zumindest auf einen Teil seines *in situ* Nahrungsvorkommens mit einem Minimum an manipulativen Störungen vorzunehmen. Weiterhin konnte in diesem Kapitel gezeigt werden, daß sich ein Teil der möglichen Fehlerquellen z.B. durch begleitende Messungen (Nährstoffe) oder statistische Auswertungen (Freßkinetik) zumindest erkennen oder sogar nachträglich korrigieren lassen.

5.2.2 Der Grazing-Einfluß des Mikrozooplanktons auf den Phytoplankton-Bestand im Europäischen Nordmeer und im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres

Im vorhergehenden Kapitel wurde darauf hingewiesen, daß durch die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit zum Nahrungskonsum des Mikrozooplanktons mit der Serial-Dilution-Methode nur der herbivore Anteil an der Ernährung des Mikrozooplanktons bestimmt wurde. In diesem Kapitel soll gezeigt werden, daß die Quantität der herbivoren Ernährung des Mikrozooplanktons in den beiden polaren und subpolaren Untersuchungsgebieten vergleichbar hohe Auswirkungen auf den Phytoplankton-Bestand haben kann, wie dies durch Untersuchungen in anderen Meeresgebieten bereits belegt werden konnte.

Untersuchungen zum Freßverhalten des Mikrozooplanktons und dessen Auswirkungen auf den Phytoplankton-Bestand in polaren und subpolaren Regionen sind bisher selten durchgeführt worden. In den meisten Fällen beschränkten sich die Studien auf die Erfassung der Biomasse- und Abundanzverteilung des Mikrozooplanktons (z.B. BOLMS 1986, PARANJAPE 1988) oder nur bestimmter Taxa innerhalb dieser Zooplanktonfraktion (z.B. ALDER 1989, AUF DEM VENNE 1990, PUTT 1990, KLÖSER 1991, NÖTHIG *et al.* 1991, SCHAREK 1991 und ANTIA *et al.* 1993). Freßexperimente mit der Dilution-Methode sind für die nördlichen Polarregionen bisher erst in zwei Arbeiten dokumentiert (siehe Tab. 8: PARANJAPE 1987 und ANTIA 1991), während Untersuchungen mit dieser Methode aus den Südpolar-Regionen m.E. bisher nicht vorliegen. Zunächst soll dennoch versucht werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit anhand der Erkenntnisse aus anderen Studien in Polarregionen einzuordnen.

PARANJAPE (1987) konnte für die kanadische Arktis zeigen, daß das Mikrozooplankton $0.03\text{--}1.34 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ aufnehmen konnte. Diese absoluten Mengen entsprachen 8-15% des Chl.a-Bestandes bzw. 37-114% der potentiellen Chl.a-Produktion. In der Grönland See wurden durch ANTIA (1991) in Bezug auf die absoluten Mengen geringere Werte ermittelt, während sich in Relation zum Chl.a-Bestand leicht höhere Anteile ergaben. In der Studie von ANTIA (1991) wurden $0.04\text{--}0.48 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ durch das Mikrozooplankton-Grazing aufgenommen, damit wurde der Chl.a-Bestand durch das Mikrozooplankton-Grazing täglich zwischen 10-39% dezimiert. In der vorliegenden Arbeit beliefen sich die Grazingraten des Mikrozooplanktons im Europäischen Nordmeer pro Tag auf $0.04\text{--}0.37 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1}$ und entsprachen damit 3-35% des Chl.a-Bestandes bzw. 12-97% der potentiellen Chl.a-Produktion. Der von PARANJAPE (1987) mit $1.34 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ angegebene Maximalwert repräsentiert eine küstennahe Station mit sehr hohen Chl.a-Konzentrationen ($7.9 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1}$), an der Tintinnen bis zu 20% Anteil an der Mikrozooplankton-Population hatten. Zusammen mit den ebenfalls vorhandenen Copepoden-Nauplien und Muschellarven dürfte diese Populationszusammensetzung für die hohe Grazingrate an dieser Station verantwortlich gewesen sein. Es wird von mehreren Autoren darauf verwiesen, daß Metazoen-Larven und Tintinnen durchschnittlich höhere Ingestionsraten aufweisen, als die im Mikrozooplankton meist dominanten aloricateen, oligotrichen Ciliaten (z.B. RASSOULZADEGAN und ETIENNE 1981, ANTIA 1991).

Unter Verwendung eines Umrechnungsfaktors für C:Chl.a von 50:1 (z.B. TILZER *et al.* 1985, ARNDT 1990, BJØRNSSEN und KUPARINEN 1991) ergeben sich für die Grazingraten des Mikrozooplanktons im Europäischen Nordmeer Werte von $2\text{--}18.5 \mu\text{g C} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ und können somit mit den ^{14}C -Primärproduktionsraten des Phytoplanktons direkt verglichen werden. Dieser Vergleich zeigt, daß das Mikrozooplankton in der Lage ist zwischen 30% und 170% der täglichen Phytoplankton-Primärproduktion zu konsumieren. Die Anteile der täglichen ^{14}C -Primärproduktion, die durch das Mikrozooplankton-Grazing pro Tag aufgenommen werden verringern sich auf 13% bis 75% unter der Verwendung eines Umrechnungsfaktors für C:Chl.a von 22:1 (dieser Faktor ergibt sich aus den Daten der vorliegenden Arbeit unter Berücksichtigung der PPC- und der Chl.a-Konzentrationen im Europäischen Nordmeer; die üblicherweise in der Literatur verwendeten Umrechnungsfaktoren für C:Chl.a beziehen sich meist auf die POC- und Chl.a-Konzentrationen und ergeben daher einen höheren Verhältniswert). In einer Untersuchung in der Schelfregion vor Neu-Schottland, Kanada stellten PARANJAPE *et al.* (1985) fest, daß durch die Freßaktivität des Mikrozooplanktons zwischen 82-204% der täglichen Primärproduktion des Phytoplanktons aufgenommen wurde. Der Vergleich mit den Untersuchungen in anderen Teilen der nördlichen Polarregionen zeigt, daß das Mikrozooplankton des Europäischen Nordmeeres durch seinen Grazingdruck auch hier einen vergleichbar hohen Einfluß auf den Phytoplankton-Bestand und die

Primärproduktion ausübt, und damit auch in diesem Gebiet entscheidend in das Nahrungsgefüge und die Stoffflußdynamik des Pelagials eingreift.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zum Einfluß des Mikrozooplankton-Grazings auf den Phytoplankton-Bestand des subpolaren und polaren atlantischen Sektors des Südpolarmeeres wird deutlich, daß auch in diesem Meeresgebiet z.T. sehr hohe Grazingraten zu verzeichnen waren. Im Bereich der Polar-Fronten-Zone wurden durch das Mikrozooplankton durchschnittlich $0.56 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ($0.16\text{--}1.32 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, vergl. Tab. 5.2) bzw. $28 \mu\text{g C} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ($8\text{--}66 \mu\text{g C} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) ($\text{C:Chl.}\underline{a}=50:1$) aufgenommen und stellen damit die höchsten Raten dar, die im Rahmen dieser Untersuchung gemessen werden konnte. Im Antarktischen Zirkumpolarstrom (AZS) lagen die Grazingraten allerdings deutlich unterhalb der Werte der Polar-Fronten-Zone. Im eisfreien Bereich des AZS wurden Raten von durchschnittlich $0.06 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ($0.04\text{--}0.08 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, vergl. Tab. 5.2) bzw. $3 \mu\text{g C} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ($2\text{--}4 \mu\text{g C} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) ermittelt, während die Werte für die eisbeeinflusste Zone des AZS im Mittel $0.05 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ($0.01\text{--}0.15 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, vergl. Tab. 5.2) bzw. $2.5 \mu\text{g C} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (0.5 und $7.5 \mu\text{g C} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) erreichten. In Relation zum Chl.a-Bestand bzw. zur potentiellen Chl.a-Produktion in den verschiedenen Teilen des südpolaren Untersuchungsgebietes entsprechen die angegebenen Werte 30% (18–62%) des Chl.a-Bestands bzw. 105% (61–178%) der potentiellen Chl.a-Produktion, die in der Polar-Fronten-Zone vom Mikrozooplankton pro Tag konsumiert wurden. Entsprechend ergeben sich im eisfreien Bereich des AZS 19% (13–25%) des Chl.a-Bestands und 60% (57–62%) der potentiellen Chl.a-Produktion, die durch das Mikrozooplankton aufgenommen wurden. Im eisbeeinflussten Bereich des AZS ist der Anteil am Chl.a-Bestand, der durch das Mikrozooplankton gefressen wurde mit 11% (1–28%) etwas geringer, während mit 96% (25–250%) deutlich höhere Anteile von der potentiellen Chl.a-Produktion konsumiert wurden.

Um einen Vergleich mit anderen Untersuchungen im Südpolarmeer zu ermöglichen soll hier zunächst dargestellt werden, wie hoch die Anteile des Mikrozooplankton-Grazings an der ^{14}C -Primärproduktions-Rate des Phytoplanktons sein können. Die in Kohlenstoff-Einheiten (Umrechnungsfaktor $\text{C:Chl.}\underline{a} = 50:1$) konvertierten Grazingraten im Bereich der Polar-Fronten-Zone entsprachen durchschnittlich 173% (74–328%) der Phytoplankton-Primärproduktion. Im eisfreien Bereich des AZS fällt dieser Anteil im Mittel mit 129% (97–161%) geringer aus, während in der eisbeeinflussten Region des AZS mit durchschnittlich 186% (23–369%) etwa die gleiche Höhe wie in der Polar-Fronten-Zone gefunden wurde. Auffällig sind die beiden extrem hohen Maximalwerte in der Polar-Fronten-Zone (328%) und im eisbeeinflussten Bereich des AZS (369%). Beide Werte können anhand des vorliegenden Datenmaterials nicht interpretiert werden.

BECQUEVORT *et al.* (1992) berechneten unter Zuhilfenahme von Literaturdaten, daß das Protozooplankton in der nordwestlichen Weddell See in der Zeit der Meereisschmelze durchschnittlich pro Tag 48% der Phytoplankton-Primärproduktion aufnehmen konnten,

wiesen aber gleichzeitig darauf hin, daß vornehmlich im Bereich der Meereisgrenze bzw. in erst kürzlich eisfrei gewordenen Gebieten ca. 120% der Phytoplankton-Produktion durch das Protozooplankton konsumiert werden könne.

Dieser Vergleich zeigt, daß die Werte der vorliegenden Arbeit deutlich oberhalb der Werte aus dem nordwestlichen Bereich der Weddell See liegen, wenngleich zu bedenken bleibt, daß die angeführte Studie ca. 2 Monate später in der Vegetationsperiode durchgeführt wurde und es sich um Berechnungen aus einer Kombination von Annahmen, Literaturdaten und eigenen Ergebnissen handelt. Mit Ausnahme der beiden Extremwerte liegen aber alle Werte der vorliegenden Arbeit unterhalb des Maximalwertes (204% der täglichen Primärproduktion), der von PARANJAPÉ *et al.* (1985) für die kanadische Arktis angegeben wurde.

Ebenfalls nur geringe Übereinstimmungen lassen sich beim Vergleich der Ingestionsraten bzw. der Filtrationsraten finden. BJØRNSÉN und KUPARINEN (1991) ermittelten in Mikrokosmos-Experimenten mit Proben aus der Weddell See und der Weddell-Scotia-Konfluenz-Zone maximale Ingestions- bzw. Filtrationsraten der untersuchten heterotrophen Dinoflagellaten von $6 \text{ pg C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ bzw. $0.08\text{-}0.12 \text{ } \mu\text{l} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Eine weitere Studie mit Kulturen einer isolierten heterotrophen *Gymnodinium*-Art im subpolaren Pazifik ergab Ingestionsraten von $1\text{-}51 \text{ pg C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ und Filtrationsraten von $0.19\text{-}1.64 \text{ } \mu\text{l} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (STROM 1991). Diese Werte beziehen sich auf ein Nahrungsangebot von zwei Algenarten mit Zellgrößen von $< 5 \text{ } \mu\text{m}$. Für die Mikrozooplankton-Populationen der vorliegenden Studie im Südpolarmeer konnten Ingestionsraten von $2\text{-}325 \text{ pg C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (vergl. Tab. 5.2, C:Chl.a = 50:1) und Filtrationsraten von $0.1\text{-}21 \text{ } \mu\text{l} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ermittelt werden.

Im Vergleich ergibt sich damit lediglich im unteren Bereich eine Übereinstimmung mit den Werten von BJØRNSÉN und KUPARINEN (1991), die wie in der vorliegenden Studie zwar auch mit natürlichen Proben arbeiteten, aber nur Dinoflagellaten in ihrer Studie berücksichtigten. Die Werte von STROM (1991) liegen eher im mittleren Bereich der Werte dieser Studie. Auch diese Autorin berücksichtigte nur Dinoflagellaten in ihrer Untersuchung konnte aber höhere Raten feststellen, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, daß das eingesetzte Nahrungsangebot sehr einseitig, praktisch nur im optimalen Größenbereich der isolierten Dinoflagellaten gewählt wurde.

Der Einfluß des Grazings des Mikrozooplanktons auf den Phytoplankton-Bestand im Südpolarmeer erreicht mit durchschnittlich 11% und 19% des Chl.a-Bestands der pro Tag im eisfreien bzw. eisbeeinflussten Bereich des AZS aufgenommen wurde, ähnlich hohe Werte, wie sie auch für das Europäische Nordmeer mit durchschnittlich 14% festgestellt werden konnten. Ein höherer Einfluß konnte für die Polar-Fronten-Zone festgestellt werden, wo der Chl.a-Bestand durch das Mikrozooplankton-Grazing um durchschnittlich 30% pro Tag dezimiert wurde. Aus diesen Werten wird deutlich, daß auch in polaren Regionen und v.a. aber auch im

Südpolarmeer erhebliche Mengen an Phytoplankton durch das Mikrozooplankton umgesetzt werden können, wie dies in einer Reihe von Untersuchungen (z.B. HEWES *et al.* 1985) bereits postuliert, bisher aber selten direkt untersucht wurde. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Modelle der polaren Nahrungsnetze sollen später eingehend besprochen werden (Kapitel 5.4).

Bisher wurde die Einordnung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit anhand von Untersuchungen vorgenommen, die mit ähnlichen Fragestellungen ebenfalls im Bereich der beiden Polarregionen durchgeführt wurden. Es konnte gezeigt werden, daß sich die Ergebnisse im gegebenen Rahmen in die Erfahrungen vorheriger Studien eingliedern lassen. An dieser Stelle soll nun darauf eingegangen werden, daß der Chl.*a*-Umsatz des Mikrozooplanktons im Pelagial der Polarregionen ebenso hohe Werte annehmen kann, wie dies aus temperierten und küstennahen Bereichen berichtet wurde und somit vermutlich von gleicher Bedeutung für die Dynamik des pelagischen Stoff- und Energietransfers ist. Um ein möglichst hohes Maß an Vergleichbarkeit zu erzielen und damit Ungenauigkeiten, die sich aus der Verwendung unterschiedlicher methodischer Ansätze ergeben können auszuschließen, sind hier nur Untersuchungen berücksichtigt worden, die mit der Serial-Dilution-Methode durchgeführt wurden.

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Dilution-Experimente zum Mikrozooplankton-Grazing in unterschiedlichen Meeresgebieten zusammengefaßt. Es zeigt sich eine große Spannbreite für die Anteile am Chl.*a*-Bestand, die pro Tag in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten durch das Mikrozooplankton aufgenommen wurden. Die Ergebnisse aus dem Europäischen Nordmeer und aus dem Südpolarmeer liegen mit ihren Minimal- und Maximalwerten innerhalb der Spannbreite der Ergebnisse, wie sie für andere Region angegeben werden. Ausnahmen dürften möglicherweise die von GALLEGOS (1989) für ein mesohalines, eutrophes Flachwasserästuar und die von BURKILL *et al.* (1987) für die Keltische See angeführten Werte darstellen, die durchgängig im oberen Bereich oder oberhalb der Ergebnisse der restlichen Studien liegen. In beiden Arbeiten verweisen die Autoren auf die spezifischen hydrographischen Begebenheiten der Untersuchungsgebiete, die durch stabile Schichtung der Wassersäule und relativ hohe Nährstoffgehalte gute Wachstumsbedingungen für das Phytoplankton bieten und damit vermutlich auch zu einer erhöhten Grazingaktivität durch das Mikrozooplankton beitragen.

Es kann somit zusammenfassend festgestellt werden, daß sich der Einfluß des Mikrozooplankton-Grazings auf den Phytoplankton-Bestand in polaren Meeresgebieten nicht auffällig von den Beobachtungen in anderen Seegebieten unterscheidet. Damit muß dem Mikrozooplankton eine ähnlich wichtige Rolle in polaren, pelagischen Nahrungsnetzen eingeräumt werden, wie dies für temperierte und küstennahe Regionen schon durch eine Vielzahl von Untersuchungen belegt wurde (BEERS und STEWART 1971, HEINBOKEL und

BEERS 1979, CAPRIULO und CARPENTER 1980, TILLMANN 1993) und zumindest für das Südpolarmeer erst durch eine Reihe neuerer Untersuchungen zunehmend anerkannt wird (BRÖCKEL 1981, HEWES *et al.* 1985, SMETACEK *et al.* 1990, NÖTHIG *et al.* 1991).

Tab.8: Aufstellung von Untersuchungen zum Freßdruck des Mikrozooplanktons verschiedener Untersuchungsgebiete. Ein Vergleich der Phytoplankton-Wachstums-Koeffizienten (k), der Grazing-Koeffizienten (g) und der Anteile am Chl.a-Bestand, die durch die Freßaktivität des Mikrozooplanktons aufgenommen wurden. Alle Untersuchungen wurden mit der Serial-Dilution-Methode durchgeführt.

Untersuchungsgebiet	k [d ⁻¹]	g [d ⁻¹]	% Chl.a Bestand aufgenommen [d ⁻¹]	Quelle
Küstenregion vor Washington, USA	0.46 - 0.63	0.07 - 0.28	6 - 31	LANDRY & HASSETT 1982
Kaneohe Bay Hawaii, USA	1.58 - 1.60	0.35 - 0.47	42	LANDRY <i>et al.</i> 1984
Keltische See Großbritannien	0.16 - 0.35	0.36 - 1.04	30 - 65	BURKILL <i>et al.</i> 1987
Jones Sound Kanadische Arktis	-0.01 - 0.34	0.02 - 0.17	8 - 15	PARANJAPE 1987
Halifax Harbour Kanada	0.24 - 1.68	0.02 - 0.72	0 - 50	GIFFORD 1988
Rhode River Maryland, USA	0.46 - 1.61	0.41 - 1.07	34 - 80	GALLEGOS 1989
Grand Bank Neufundland, Kanada	0.33 - 0.70 0.26 - 0.65	0.12 - 0.43* 0.30 - 0.68**	11 - 35 25 - 49	PARANJAPE 1990
Nord-Ost-Atlantik	0.59 - 0.97	0.56 - 0.76	43 - 53	VERITY unveröfftl. Daten
Grönland See	-0.06 - 1.15	0.01 - 0.94	10 - 39	ANTIA 1991
Europäisches Nordmeer Bären-Insel-Schelf, Ost-Grönland-Strom	0.02 - 0.48	0.03 - 0.43	3 - 35	diese Arbeit
Südpolarmeer atlantischer Sektor	-0.11 - 1.15	0.01 - 0.96	1 - 62	diese Arbeit

* = < 20 µm ** = > 20 µm

5.3 Nahrungsauswahl und spezifisches Freßverhalten des Mikrozooplanktons im Südpolarmeer

In den vorhergehenden Kapiteln ist auf die Bedeutung des Mikrozooplankton-Grazings für den Umsatz autotropher Biomasse und Primärproduktion eingegangen worden. Diese Betrachtungen bezogen sich ausschließlich auf die Wachstumsrate und Grazingrate des Chl.*a*-Gesamtbestands in den beiden Untersuchungsgebieten. Auswertungen dieser Art berücksichtigen aber nur die kumulativen Auswirkungen der verschiedenen Taxa, die zu diesem Gesamtbestand beitragen. Eine Differenzierung gruppenspezifischer Wachstumsraten und der Grazingraten auf die einzelnen Gruppen kann somit nicht vorgenommen werden. Aus diesem Grunde sind die experimentellen Ansätze und Analysemethoden der Serial-Dilution-Experimente während ANT X/6 erweitert worden. Durch die Anwendung der Durchfluß-Zytometrie und der Epifluoreszenz-Mikroskopie sollten genauere Informationen über die Wachstumsraten des autotrophen Pico- und Nanoplanktons und des Grazing-Einflusses des Mikrozooplanktons auf diese Phytoplankton-Größenklassen ermöglicht werden (ursprünglich war geplant diese Auswertungen durch größenfraktionierte Chl.*a*-Analysen zu ergänzen, wovon aber aufgrund der meist sehr niedrigen Chl.*a*-Anfangskonzentrationen abgesehen wurde).

Die bevorzugte Beweidung von Nahrungspartikeln durch das Mikrozooplankton, vornehmlich aus der Größenklasse des Nanoplanktons (2-20 μm), ist in der Literatur überwiegend anerkannt (z.B. BEERS und STEWART 1970, 1971, BEERS *et al.* 1975, 1980, HEINBOKEL 1978a,b, SMETACEK 1981, STOECKER *et al.* 1981). Bei Tintinnen wird die maximale Größe der ingestierbaren Partikel mit ca. 45% des Lorica-Durchmessers angegeben (SPITTLER 1973, HEINBOKEL 1978a), während bei aloricate Formen davon ausgegangen wird, daß sie Partikel bis zu einem Durchmesser von 40-45% ihres Zytostom-Durchmessers aufnehmen können (JONSSON 1986). Dennoch gibt es auch Hinweise, daß auch größere Partikel, bis hin zur eigenen Zellgröße phagozytiert werden können (KAHL 1935, SMETACEK 1981, GIFFORD 1985). JONNISON (1986) zeigt in seiner Untersuchung, daß drei von ihm untersuchte Strombidien- und Lohmanniella-Arten nicht in der Lage waren Partikel von einer Größe von 1 μm effektiv aufzunehmen, wohingegen GAST (1985), SHERR und SHERR (1987) und ALBRIGHT *et al.* (1987) die Ingestion von Bakterien für aloricate Ciliaten nachwiesen.

Neben diesen Hinweisen, daß Nahrungspartikel einer bestimmten Größenklasse den Hauptanteil an der Mikrozooplankton-Nahrung stellen, werden eine Reihe von Faktoren angeführt, die zusätzlich Einfluß auf die Nahrungsauswahl durch das Mikrozooplankton haben. STOECKER *et al.* (1986) gehen davon aus, daß die Nahrungsaufnahme des Mikrozooplanktons durch eine Kombination von Nahrungspartikel-Eigenschaften wie Größe, Form, Motilität und chemischer und physikalischer Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst wird.

Sowohl aus Laborbefunden als auch aus Freilanduntersuchungen ist bekannt, daß viele oligotriche Ciliaten bevorzugt Flagellaten und Dinoflagellaten aufnehmen (HEINBOKEL 1978a, STOECKER *et al.* 1981). Untersuchungen an *Balanion sp.* zeigten eine deutliche Präferenz dieses Ciliaten für Heterocapsa-Arten, die aus einer Mischung potentieller Mikroalgen-Nahrung selektiv aufgenommen wurden (STOECKER *et al.* 1986). In der gleichen Arbeit konnten die Autoren Hinweise darauf finden, daß diese Selektivität nicht allein durch die Größe der Heterocapsa-Arten bedingt war, da *Balanion sp.* inerte Partikel der gleichen Größe mied. Vielmehr verwiesen sie auf den vergleichsweise hohen Sterol-Gehalt von Heterocapsa-Arten gegenüber den meisten anderen Phytoplanktern, da von Sterolen bekannt ist, daß sie als Wachstumsfaktoren für einige Protozoen angesehen werden (AARONSON und BAKER 1961, PROVASOLI 1977). Desweiteren begründeten STOECKER *et al.* (1986) die Präferenz von *Balanion sp.* für Heterocapsa-Arten damit, daß diese Dinoflagellaten in den Versuchen die höchsten Wachstumsraten aufwiesen und somit den Nahrungsbedarf des Ciliaten für sein eigenes Wachstum am besten gewährleisteten.

VERITY (1991) belegte durch Laboruntersuchungen mit Tintinnen und aloricate Ciliaten, daß die höchsten Wachstumsraten der untersuchten Organismen festgestellt wurden, wenn sie plastidenhaltiges Nanoplankton angeboten bekamen. In Freilanduntersuchungen ermittelte GIFFORD (1988) deutlich höhere Grazingraten durch das Mikrozooplankton, wenn das Phytoplankton im Gegensatz zu großen Diatomeen durch Flagellaten ($< 12 \mu\text{m}$) dominiert war. Unter Zuhilfenahme der HPLC-Methodik zur Verfolgung taxonspezifischer Algenpigmente in Grazing-Experimenten in der Grönland See (ANTIA 1991) und in der Keltischen See (BURKILL *et al.* 1987) konnte durch die Messung von Peridinin als Markerpigment für Dinoflagellaten nachgewiesen werden, daß für die Dinoflagellaten sowohl die höchsten Wachstumsraten als auch die größten Grazingraten auf dieses Phytoplankton-Taxon vorlagen. Die Ergebnisse von STOECKER *et al.* (1986), BURKILL *et al.* (1987) und ANTIA (1991) zeigen übereinstimmend eine enge Kopplung zwischen der Grazingintensität durch das Mikrozooplankton und der Wachstumsrate der vorrangig beweideten Autotrophen. In allen Fällen ist der Grazingdruck auf die Algen am größten, die die höchste Wachstumsrate aufweisen.

Für die Untersuchungen im Südpolarmeer ist eine Gegenüberstellung der Phytoplankton-Wachstumsraten (k) der verschiedenen analysierten Größenklassen und der Grazingraten (g) des Mikrozooplanktons (vergl. Tab. 5.1, Tab. 6.1 und Tab. 7.1) auf diese Phytoplankton-Größenklassen aller durchgeführten Experimente in Abbildung 23 dargestellt. Diese Abbildung verdeutlicht zwei wichtige Ergebnisse dieser Untersuchung. Sofern kein Zweifel darüber besteht, daß durch die Dilution-Methode zwei voneinander unabhängige Variablen bestimmt werden (der Phytoplankton-Wachstums-Koeffizient "k" und der Mikrozooplankton-Grazing-Koeffizient "g") ist die aus Abbildung 23 hervorgehende Korrelation der beiden Variablen nicht grundsätzlich zu erwarten. Vielmehr zeigt sich, wie dies auch aus den Ergebnissen von

STOECKER *et al.* (1986), BURKILL *et al.* (1987) und ANTIA (1991) hervorging, daß selektives Grazing durch das Mikrozooplankton auch im Bereich des Südpolarmeeres vornehmlich dadurch charakterisiert ist, daß die schnell-wachsenden Phytoplankter gefressen werden. Eine detailliertere Betrachtung der Abbildung 23 verdeutlicht zudem, daß sich im oberen Bereich der Werteverteilung fast ausschließlich Werte für das autotrophe Pico- und Nanoplankton befinden, während sich fast alle Werte für den Phytoplankton-Gesamtbestand im unteren Bereich der Werteverteilung befinden. Diese Gesamtauswertung aller im Bereich des Südpolarmeeres durchgeführten Dilution-Experimente zeigt, daß hohe Grazingraten auf schnell-wachsende Phytoplankton-Größenklassen demnach fast ausschließlich dann zu verzeichnen sind, wenn es sich um Größenklassen aus dem autotrophen Pico- und Nanoplankton handelt. Informationen dieser Art geben Aufschluß darüber, daß Befunde, die durch die Auswertungen des Phytoplankton-Gesamtbestands (Chl.a) in Dilution-Experimenten erzielt werden, oft aufschlußreiche Ergebnisse verdecken, die erst durch detailliertere experimentelle Ansätze mit zusätzlichen Analysemethoden ersichtlich werden.

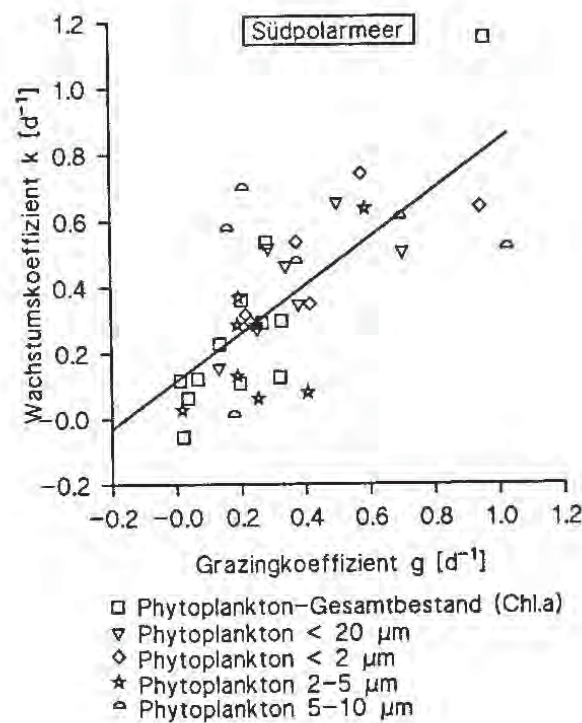


Abb. 23: Korrelation zwischen den Grazingkoeffizienten (g) des Mikrozooplanktons und den Phytoplankton-Wachstumskoeffizienten (k) der untersuchten Phytoplankton Größenklassen während ANT X/6. Es ergibt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen "g" und "k" ($y=0.73x+0.11$; $r=0.74$; $n=39$; $p<0.01$).

In Abbildung 24 soll anhand von je einem Beispiel aus der Polar-Fronten-Zone und aus dem eisbeeinflussten Bereich des AZS gezeigt werden, daß eine erhöhte Grazingaktivität des

Mikrozooplanktons auf schnell-wachsende Phytoplankter nicht ausschließlich auf das autotrophe Pico- und Nanoplankton beschränkt war. Das Beispiel für die Station 918 im eisbeeinflussten Bereich des AZS bestätigt die Begebenheiten, wie sie aus Abbildung 23 für den gesamten Untersuchungszeitraum hervorgingen: selektives Grazing auf die in diesem Bereich schnell-wachsenden Größenklassen des autotrophen Pico- und Nanoplanktons. Zudem wird an diesem Beispiel deutlich, daß durch den Grazing-Einfluß des Mikrozooplanktons an dieser Station das Wachstum der Phytoplankton-Größenklasse 5-10 μm kontrolliert wird und der Bestand abnimmt.

Im Kontrast dazu befinden sich die Ergebnisse der Station 960 im Bereich der Polar-Fronten-Zone. Hier ergeben sich im Vergleich zum Phytoplankton-Gesamtbestand für das autotrophe Pico- und Nanoplankton deutlich niedrigere Wachstums- und Grazingraten. An dieser Station dominieren Diatomeen ($> 20 \mu\text{m}$, v.a. *Fragilariopsis kerguelensis*) den schnell-wachsenden

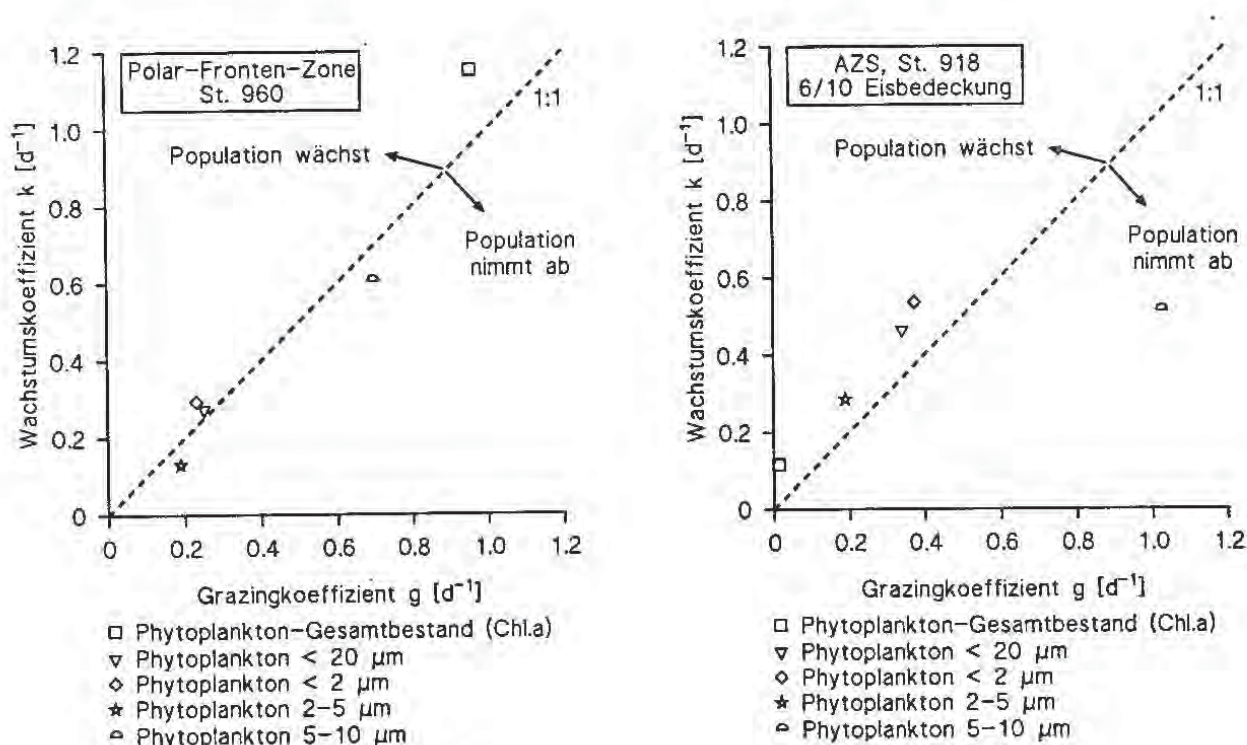


Abb. 24: Darstellung der Wachstumskoeffizienten (k) verschiedener Phytoplankton-Größenklassen und der Grazingkoeffizienten (g) des Mikrozooplanktons für zwei Beispiele aus dem Untersuchungsgebiet von ANT X/6. Die gestrichelten Linien repräsentieren einen Gleichgewichtszustand, in dem sich die Phytoplankton-Zuwachsrates und die Phytoplankton-Mortalität durch Mikrozooplankton-Grazing entsprechen. Im Beispiel für die St. 918 (rechts) zeigt sich, daß der Bestand der Phytoplankton-Größenklasse 5-10 μm abnimmt, während die anderen Größenklassen in beiden Beispielen nahezu konstante Bestände aufweisen.

Phytoplankton-Gesamtbestand und dennoch ergeben sich für diesen Gesamtbestand auch die höchsten Grazingraten. Offensichtlich ist also das Mikrozooplankton auch in der Lage größere

Nahrungspartikeln effektiv zu beweiden. Es scheint, daß diese Anpassung an die Nutzung größerer Nahrungspartikel auch durch die Populationszusammensetzung des Mikrozooplanktons an dieser Station widerspiegelt wird. Es wurde bereits erwähnt (siehe 4.2.4, Abb. 19.1 und 20.1), daß vornehmlich im Bereich der Polar-Fronten-Zone vermehrt große Tintinnen (*Eutimninus sp.*, *Proplectella parva* und *Ascampbeliella lata*) und heterotrophe Dinoflagellaten im Mikrozooplankton-Bestand zu verzeichnen waren. Beide Gruppen sind in der Lage relativ große Nahrungspartikel zu nutzen (vergl. hierzu auch 5.1).

Zusammenfassend läßt sich somit festhalten, daß das Mikrozooplankton im südpolaren Untersuchungsgebiet selektives Grazingverhalten in der Form zeigte, daß es bevorzugt Phytoplankton-Gruppen beweidete, die sich durch hohe Wachstumsraten auszeichnen und dadurch am besten geeignet waren den Nahrungsbedarf des Mikrozooplanktons zu decken. In der Mehrzahl der untersuchten Fälle wurde dies durch das autotrophe Pico- und Nanoplankton bewerkstelligt, wenngleich auch an einem Beispiel gezeigt werden konnte, daß Diatomeen vorrangig gefressen wurden. Im folgenden Kapitel soll auf die möglichen Mechanismen eingegangen werden, die zu einer engen Kopplung der schnell-wachsenden Phytoplankter und deren bevorzugte Aufnahme durch ihre Freßfeinde führen könnten. Darüber hinaus soll gezeigt werden, daß das Mikrozooplankton auch im Südpolarmeer eine wichtige Position innerhalb des pelagischen Nahrungsnetzes einnimmt und damit ein weiterer Hinweis darauf gegeben werden kann, daß sich die Nahrungsnetzstruktur auch im Südpolarmeer weitaus komplexer darstellt, als lange Zeit angenommen wurde.

5.4 Die Bedeutung des Mikrozooplanktons als Konsumenten und als Beuteorganismen in polaren pelagischen Nahrungsnetzen

Inwiefern es sich bei der auffälligen Korrelation zwischen der Wachstumsrate des Phytoplanktons und der Grazingrate des Mikrozooplanktons im Südpolarmeer (siehe Abb. 23) um einen Rückkopplungsmechanismus, oder um unabhängige Vorgänge handelt, die zufällig parallel ablaufen, ist schwer zu entscheiden. Es lassen sich für beide Varianten biologisch und ökologisch sinnvolle Erklärungen finden. BURKILL *et al.* (1987) konnten in ihren Untersuchungen in der Keltischen See ebenfalls die höchsten Grazingraten des Mikrozooplanktons für die während ihrer Untersuchungen schnell-wachsenden Dinophyceen, Chlorophyceen und Cryptophyceen feststellen. Sie gaben zu bedenken, daß es sich bei diesen bevorzugten Taxa ausnahmslos um motile Formen handelt. Damit besteht zumindest theoretisch die Möglichkeit, daß diese Formen bei ungünstigen Wachstumsbedingungen eher in der Lage sind sich in Zonen mit besseren Wachstumsbedingungen aufzuhalten als nicht-motile Formen. Dadurch könnte sich z.B. hinsichtlich der Nährstoffversorgung ein Vorteil ergeben. Diese Formen wachsen dann nicht nur schneller sondern sind auch in Bezug auf ihren Nährwert

wertvollere Nahrung für das Mikrozooplankton. In der gleichen Arbeit verweisen die Autoren auf Ergebnisse einer Untersuchung mit Chlorophyceen, die zeigte, daß schneller wachsende Zellen einen höheren Gehalt an Proteinen und Lipiden aufwiesen und bei Verfütterung dieser die Konsumenten höhere Wachstumsraten erkennen ließen, als wenn sie mit den langsam gewachsenen Zellen gefüttert wurden (SCOTT 1980).

Eine weitere Möglichkeit für einen Rückkopplungsmechanismus besteht bei gleichzeitigem engen, fleckenhaften Vorkommen ("patchiness") von Beuteorganismen und Konsumenten. Bedingt durch ihre hohen Exkretionsraten (JOHANNES 1964, 1965) könnten die Protozoen ihre Futterorganismen mit stickstoffhaltigen Nährstoffen (vornehmlich NH_4) versorgen, die zudem auch noch gegenüber NO_3 von den Phytoplanktern bevorzugt aufgenommen werden (EPPLEY *et al.* 1969a,b). Dies könnte zu höheren Wachstumsraten führen, wobei die Protozoen diese schnell-wachsenden Formen dann aufgrund der engen räumlichen Koexistenz auch gleichzeitig bevorzugt aufnehmen könnten.

Für die Variante, daß es sich um unabhängig voneinander ablaufende, zufällig parallele Vorgänge handelt, läßt sich folgende Erklärung anführen. Bei einer gegebenen Umgebungstemperatur und ansonsten identischen Wachstumsbedingungen vermögen relativ kleinere Phytoplanktonzellen aus physiologischen Gründen schneller zu wachsen als größere Formen (EPPLEY 1972, BANSE 1976, MALONE 1980a). Gleichzeitig ist die Präferenz des Mikrozooplanktons für Futterpartikel $< 20 \mu\text{m}$ unumstritten, d.h. das Mikrozooplankton grazed mit seiner gegebenen Präferenz auf der Phytoplanktongrößenklasse, die unter den vorliegenden Bedingungen, aus physiologischen Gründen schneller wachsen kann als größere Zellen.

Die Ergebnisse der Grazingexperimente im Südpolarmeer belegen eine enge Korrelation zwischen der Phytoplankton-Wachstumsrate und der Grazingrate des Mikrozooplanktons (Abb. 23) und zeigen damit, daß der Grazingdruck des Mikrozooplanktons selbst unter Bedingungen hoher Wachstumsraten (die oft für das Pico- und Nanophytoplankton zu verzeichnen waren) der potentiellen Nahrungsorganismen, hoch genug sein kann, den Bestand der Nahrungsorganismen relativ konstant zu halten. Dies entspricht Beobachtungen in weiten Teilen des Südpolarmeeres, wo in einer Reihe von Untersuchungen davon ausgegangen wird, daß der Bestand des autotrophen Pico- und Nanoplanktons innerhalb der Wachstumsperiode, gerade in Chl.*a*-armen Regionen ($\text{Chl. a} < 0.6\text{--}1.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) weitestgehend unverändert bleibt (HEWES *et al.* 1985, BECQUEVORT 1992). Größere Biomasse-Akkumulationen werden als sporadisch angesehen und werden stets durch Massenvorkommen von Diatomeen hervorgerufen.

Die Beantwortung der Frage, inwieweit das Mikrozooplankton durch seine hohen Grazingraten an dem im Bereich des Untersuchungsgebietes meist schnell-wüchsigen Pico- und Nanophytoplankton dafür verantwortlich ist, daß für diese Phytoplankton-Größenklassen innerhalb der Wachstumsperiode weitestgehend konstante Bestände verzeichnet werden können, muß offen bleiben. Eine direkte Einflußnahme auf die Phytoplankton-

Sukzessionsmuster durch das Mikrozooplankton-Grazing kann m.E. aufgrund der vielen darauf einflußnehmenden Faktoren und Prozesse nicht eindeutig geklärt werden. Dennoch zeigt sich anhand der Ergebnisse der Grazing-Experimente, daß die Pico- und Nanophytoplankton-Bestände im südpolaren Untersuchungsgebiet zumindest auf kleineren Zeitskalen durch das Mikrozooplankton-Grazing konstant gehalten werden können.

Der Frage der Nutzung des Mikrozooplanktons als Nahrungsquelle höherer trophischer Stufen wurde als Folge einer Reihe von Überlegungen in letzter Zeit hohe Aufmerksamkeit geschenkt. Zum einen wuchsen die Erkenntnisse hinsichtlich der Bedeutung des autotrophen Pico- und Nanoplanktons in viele Meeresgebieten, andererseits wurde durch eine Vielzahl von Untersuchungen immer wieder belegt, daß es viele Meso- und Makrozooplanktongruppen nicht vermögen, Nahrungspartikel im Größenbereich des Pico- und Nanoplanktons effektiv zu nutzen (z.B. NIVAL und NIVAL 1976, PAFFENHÖFER 1984). In dem von AZAM *et al.* (1983) entwickelten Konzept des "microbial loop", sollte das Protozooplankton als Bindeglied zwischen dem auf gelöstem organischen Material (dissolved organic matter, DOM) basierenden "Kreislauf" und den höheren trophischen Stufen vermitteln. SHERR und SHERR (1988) erweiterten dieses Konzept zum "microbial food web", in dem sie die Vielzahl der direkten Beziehungen zwischen Autotrophen und Protozoen berücksichtigten, während AZAM *et al.* (1983) ursprünglich nur beschrieben, wie das vom Phytoplankton exsudierte DOM über Bakterien und heterotrophe Flagellaten zum größeren Protozooplankton gelangt. In der Folgezeit beschäftigten sich eine Reihe von Untersuchungen mit der Bedeutung des "microbial food web" für den Stofffluß im pelagischen Nahrungsnetz. Dabei setzte sich zunehmend die Ansicht durch, daß das "microbial food web" eine wichtige Stoff- und Energiequelle darstellt, die vornehmlich aufgrund der sehr hohen sog. "gross growth efficiency" (Verhältnis zwischen der vom Konsumenten produzierten Biomasse und der Biomasse der aufgenommenen Nahrung) seiner Komponenten (z.B. BANSE 1982, GIFFORD 1988, OHMAN und SNYDER 1991) und der nachweislich engen Verbindung über das Mikrozooplankton hin zum Mesozooplankton (BERK *et al.* 1977, PORTER *et al.* 1979, SHERR *et al.* 1986, STOECKER und CAPUZZO 1990) verfügbar wird.

In vielen Untersuchungen wurde daher der Frage nach dem Grad der Vernetzung zwischen dem Mikrozooplankton und dem Mesozooplankton (vornehmlich Copepoden als Hauptvertreter innerhalb dieser Zooplankton-Größenfraktion) nachgegangen, da aus einer Reihe von Studien klar wurde, daß der Anteil des Phytoplankton-Bestands und der Primärproduktion, der für das Mesozooplankton aufgrund der Nahrungsgröße direkt nutzbar ist, in vielen Fällen nicht ausreichte, dessen Nahrungsbedürfnisse in Bezug auf Grundumsatz und Wachstum zu decken (HEINLE und FLEMER 1975, FALKOWSKI *et al.* 1983, JOINT und WILLIAMS 1985, PARANJAPE *et al.* 1985).

Die Vermutungen, daß dem Mesozooplankton zur Deckung seines Nahrungsbedarfes neben Detritus (LENZ 1977) auch noch weitere Nahrungsquellen als das Phytoplankton zur Verfügung stehen müssen, wird durch die Ergebnisse vieler Freilanduntersuchungen bestätigt. In einem subtropischen Ästuar beträgt der Anteil von Ciliaten und Flagellaten $> 10 \mu\text{m}$ an der täglichen Nahrung von *Acartia tonsa* 3-52% (GIFFORD und DAGG 1988). *Neocalanus plumchrus* bezieht im subarktischen Nordpazifik 28-59% seiner Nahrung pro Tag aus der Nutzung von Ciliaten und heterotrophen Flagellaten (GIFFORD und DAGG 1991). In einer temperierten Küstenregion beziffert TISELIUS (1989) den Anteil von Ciliaten an der Nahrung von *Acartia spp.* und *Centropages hamatus* allerdings nur auf 1-10% pro Tag. In zwei Untersuchungen in nahezu den gleichen Untersuchungsgebieten wie in der vorliegenden Arbeit ermittelte ANTIA (1991), daß täglich ca. 18% des Protozoen-Bestands durch die Copepoden in der Grönland See aufgenommen wurden. Damit wurden ca. 75 % des Nahrungsbedarfes der Copepoden aus dem Mikrozooplankton-Bestand gedeckt. Aus Budget-Berechnungen von BECQUEVORT *et al.* (1992) für die nordwestliche Weddellsee ging hervor, daß 18% der für das Mesozooplankton zur Verfügung stehenden Nahrungsmenge durch das Protozooplankton gestellt wurden (über die tatsächliche Nutzung des Protozooplanktons durch das Mesozooplankton wurden keine Angaben gemacht).

In den Polarregionen dürfte die Bedeutung der Protozoen aber auch während der Polarnächte ohne Primärproduktion bzw. in Untereis-Habitaten erheblich sein (SEKI und KENNEDY 1969, BUCK und GARRISON 1988). In diesen dann auf Detritus basierenden Nahrungsnetzen stellen die Protozoen v.a. eine wichtige Reserve an stickstoffhaltigen Proteinen und Aminosäuren dar (PHILLIPS 1984).

Die Bedeutung des Mikrozooplanktons für die Ernährung des größeren Zooplanktons im Südpolarmeer ist in der vorliegenden Arbeit nicht gesondert untersucht und m.E. auch in anderen Untersuchungen bisher nicht direkt gemessen worden. Für das Untersuchungsgebiet im Europäischen Nordmeer ist dies bereits mit eindrucksvollen Werten durch ANTIA (1991) nachgewiesen worden. Dennoch möchte ich an dieser Stelle, basierend auf Erkenntnissen aus der Literatur (HEWES *et al.* 1985) auf die potentielle Wichtigkeit des Mikrozooplanktons als Nahrung für das Meso- und Makrozooplankton des Südpolarmeereres hinweisen.

HEWES *et al.* (1985 und darin zitierte Literatur) zeigten in ihrer Arbeit bereits, daß die durch Pico- und Nanoplankton dominierten Phytoplankton-Bestände des Südpolarmeereres als Nahrung nur den Grundmetabolismus der Krill-Bestände gewährleisten können und Bestandszuwächse bereits nicht mehr zuließen. Da diese Abschätzungen sich aber auf Bestandserhebungen des Krills aus Netzfängen bezogen, verwiesen die Autoren in der gleichen Arbeit bereits darauf, daß die Bestandsabschätzungen des Krills durch akustische Meßverfahren sehr viel höher ausfielen.

Würde man diese Werte zugrunde legen, wären die Phytoplankton-Nahrungsreserven für den Krill nicht einmal hoch genug, um den Grundmetabolismus der Krillbestände zu decken.

Diese Diskrepanz wird sich dann noch weiter verstärken, wenn die übrige Meso- und Makrozooplanktonbiomasse des Südpolarmeeres mit berücksichtigt wird. Die Erfahrungen aus anderen Seegebieten zeigen, daß das Mikrozooplankton in der Lage ist, durch sein bevorzugtes Grazing an Autotrophen, die aufgrund ihrer Größe den meisten Mesozooplanktern unzugänglich sind, große Mengen dieser autotrophen Biomasse in sich zu konzentrieren, um sie dann selbst als Beute dienend, an höhere trophische Stufen weiterzugeben. Das Grazing der Protozoen an autotrophem Plankton $< 5 \mu\text{m}$ wird als wichtigster Prozeß zur Einführung dieses autotrophen Kohlenstoffs in die pelagischen Nahrungsnetze angesehen (SHERR *et al.* 1986).

Wenngleich bisher keine direkten Messungen vorliegen, die Abschätzungen über die Höhe des Anteils des Mikrozooplanktons am Nahrungsbedarf des südpolaren Meso- und Makrozooplanktons zulassen, gibt es deutliche Hinweise darauf, daß zumindest andere Nahrungsquellen als das Phytoplankton genutzt werden müssen. Für den Krill (*Euphausia superba*) ist bekannt, daß dessen bevorzugtes Nahrungsgrößenspektrum im Mikroplanktonbereich liegt (MEYER und EL-SAYED 1983), wodurch die potentielle Nutzung auch des Mikrozooplanktons wahrscheinlich wird. Dies kann durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit noch unterstützt werden, da festgestellt wurde, daß an einigen Stationen im Bereich des AZS die Mikrozooplankton-Biomasse die Phytoplankton-Biomasse (PPC) um 10% bis max. 270% (Eis-Station) überstieg. All diese Erkenntnisse veranlaßten HEWES *et al.* (1985) bereits von "alternativen Wegen des Kohlenstoffflusses in den niedrigen trophischen Ebenen des antarktischen Nahrungsnetzes" zu sprechen, und setzten damit auch für das Südpolarmeer das Mikrozooplankton als zentrales Bindeglied zwischen dem Pico- und Nanoplankton und dem größeren Zooplankton ein. Das klassische Konzept der kurzen Diatomeen-Krill Nahrungskette muß daher, durch die Einführung des Mikrozooplanktons, nach unten um das Pico- und Nanoplankton erweitert werden.

Gerade für viele, früher als herbivor eingestufte Copepoden-Arten ergeben sich Erkenntnisse, daß sie wohl eher eine omnivore Ernährung zeigen (PAFFENHÖFER und KNOWLES 1980). In vielen Fütterungsversuchen von "herbivoren" und omnivoren Crustaceen mit einem Mischfutterangebot aus Protozoen und Phytoplankton, bevorzugten die untersuchten Arten stets die Protozoen (SHERR und CAPUZZO 1990).

Gezielte nahrungsökologische Untersuchungen zur trophischen Vernetzung innerhalb des "microbial food web" und Studien zum Grazing von dominanten Arten innerhalb des Meso- und Makrozooplanktons sollten in Zukunft zum besseren Verständnis der Vorgänge in polaren pelagischen Nahrungsnetzen beitragen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde auf zwei Expeditionen mit den Forschungsschiffen METEOR und POLARSTERN in das Europäische Nordmeer und in den polaren und subpolaren, atlantischen Sektor des Südpolarmeeres die Verbreitung, die Biomasse und die Grazingaktivität des Mikrozooplanktons untersucht. Das Grazing des Mikrozooplanktons auf die Phytoplanktonbestände in den Untersuchungsgebieten wurde mit der "Serial-Dilution-Technique" nach LANDRY und HASSETT (1982) bestimmt. Während der Untersuchungen im Südpolarmeer sind die Analyse-Methoden und die experimentellen Ansätze der Grazingexperimente durch den Einsatz der Durchfluß-Zytometrie und der Epifluoreszenz-Mikroskopie erweitert worden und ließen somit differenzierte Aussagen über den Grazingdruck des Mikrozooplanktons auf unterschiedliche Größenklassen des Phytoplanktons zu.

Der Mikrozooplankton-Bestand im Europäischen Nordmeer wurde im Bereich der Bären-Insel (in der Nähe des Kontinentalhanges der Barentssee) vornehmlich durch aloricate, oligotriche Ciliaten dominiert, während vor Ost-Grönland und über dem Lofoten-Becken ein verstärkter Einfluß durch heterotrophe Dinoflagellaten zu verzeichnen war. In allen Gebieten waren die Tintinnen von untergeordneter Bedeutung und die Gesamtbestände zeigten eine deutliche Konzentrierung in den oberen 25-30m der Wassersäule.

Die Untersuchungen im Südpolarmeer erfolgten während mehrerer hydrographischer Schnitte entlang des 06°W Meridians zwischen 47°S und 60°S im Bereich der Polar-Fronten-Zone und der eisfreien und saisonal eisbedeckten Regionen des Antarktischen Zirkumpolarstromes. Die Mikrozooplankton-Bestände im Bereich der Polar-Fronten-Zone wurden hinsichtlich der Abundanz deutlich durch heterotrophe Dinoflagellaten dominiert, während in Bezug auf die Biomasse oft erhebliche Anteile von den Tintinnen gestellt wurden. Mit $1.3 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$ konnte in diesem Bereich die höchste Mikrozooplankton-Biomasse im Untersuchungszeitraum ermittelt werden. Die Mikrozooplankton-Bestände im Bereich des Antarktischen Zirkumpolarstromes waren mit häufig wechselnder Dominanz fast ausschließlich aus aloricate, oligotrichen Ciliaten und heterotrophen Dinoflagellaten zusammengesetzt. Tintinnen fehlten diesen Beständen fast gänzlich.

Die Grazingraten des Mikrozooplanktons auf die Phytoplankton-Bestände im Europäischen Nordmeer beliefen sich auf $0.04 - 0.37 \mu\text{g Chl.}_a \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ und entsprachen damit 3-35% der Phytoplankton-Bestände (Chl._a), die pro Tag durch das Mikrozooplankton aufgenommen werden konnten.

Im Südpolarmeer konnte vornehmlich im Bereich der Polar-Fronten-Zone ein höherer Einfluß des Mikrozooplankton-Grazings auf die Phytoplankton-Bestände registriert werden. Hier

wurden zwischen 0.16 und $1.32 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ durch das Mikrozooplankton aufgenommen. Diese Mengen entsprachen 18-62% der Chl.a-Bestände. Im Bereich des Antarktischen Zirkumpolarstromes wurden die Phytoplankton-Bestände nicht in dem Umfang durch das Mikrozooplankton-Grazing reduziert. Die Freßraten beliefen sich auf $0.01 - 0.15 \mu\text{g Chl.}\underline{a} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ und entsprachen in dieser Höhe 1-28% der Phytoplankton-Bestände.

Durch den erfolgreichen Einsatz der Durchfluß-Zytometrie und der Epifluoreszenz-Mikroskopie konnten zusätzliche Informationen bezüglich der Nahrungspräferenz des Mikrozooplanktons gewonnen werden.

Es wurde deutlich, daß zwischen der Wachstumsrate des Phytoplanktons und der Grazingaktivität des Mikrozooplanktons ein signifikanter Zusammenhang besteht und das Mikrozooplankton vorzugsweise die Phytoplankton-Größenklassen beweidet, die sich durch vergleichsweise höhere Wachstumsraten auszeichnen. Dabei handelte es sich bei den untersuchten Phytoplankton-Beständen vorwiegend um das autotrophe Pico- und Nanoplankton, das bevorzugt aufgenommen wurde.

Die potentiellen Auswirkungen und Mechanismen der engen Verbindung zwischen den Phytoplankton-Wachstumsraten und der Grazingaktivität des Mikrozooplanktons wurden hinsichtlich der Einflußnahme auf die Phytoplankton-Bestände polarer Regionen diskutiert.

Die zunehmenden Erkenntnisse über die Bedeutung des "Microbial Food Web" in polaren Regionen und die Ergebnisse der Untersuchungen über die Nahrungsbedürfnisse und Nahrungszusammensetzung des Meso- und Makrozooplanktons, lassen vermuten, daß das Mikrozooplankton auch im Südpolarmeer als wichtiges Bindeglied zwischen dem Nahrungsnetz der höheren trophischen Stufen und dem "Microbial Food Web" vermittelt.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Aagaard, K. (1970): The Wind-Driven Circulation in the Greenland and Norwegian Seas. Deep-Sea Res., 17, 281-291.
- Aagaard, K., Foldvik, A. und Hillman, S.R. (1987): The West Spitsbergen Current: Disposition and water mass transformation. J. Geophys. Res., 92, 3778-3784.
- Aaronson, S. und Baker, H. (1961): Lipid and sterol content of some Protozoa. J. Protozool., 8, 274-277.
- Albright, L.J., Sherr, E.B., Sherr, B.F. und Fallon, R.D. (1987): Grazing of ciliated protozoa on free and particle-attached bacteria. Mar. Ecol. Prog. Ser., 38, 125-129.
- Alder, V.A. (1989): Protozooplankton - Tintinnid Distribution. Ber. Polarforsch., 65, 132-134.
- Antia, A.N. (1991): Microzooplankton in the pelagic food web of the East Greenland Sea and its role in sedimentation processes. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 33, 1-109.
- Antia, A.N., Bauerfeind, E., Bodungen, B.v. und Zeller, U. (1993): Abundance, encystment and sedimentation of acantharia during autumn 1990 in the East Greenland Sea. J. Plankton Res., 15, 99-114.
- Arndt, K. (1990): Verbreitung, Produktion und Sedimentation von Diatomeen in der Grönlandsee. Diplomarbeit, Univ. Kiel. pp. 90.
- Auf dem Venne, H. (1990): Zur Verbreitung auto-, mixo- und heterotropher Ciliaten im Plankton der Grönlandsee. Diplomarbeit, Univ. Kiel. pp. 111.
- Azam, F., Fenchel, T., Field, J.G., Gray, J.S., Meyer-Reil, L.A. und Thingstad, F. (1983): The ecological role of water-column microbes in the sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., 10, 257-263.
- Bainbridge, R. (1953): Studies on the interrelationships of zooplankton and phytoplankton. J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 32, 385-447.
- Banse, K. (1976): Rates of growth, respiration and photosynthesis of unicellular algae as related to cell size - A review. J. Phycol., 12, 135-140.
- Banse, K. (1982): Cell volumes, maximal growth rates of unicellular algae and ciliates, and the role of ciliates in the marine pelagial. Limnol. Oceanogr., 27, 1059-1071.
- Barlow, R.G., Burkill, P.H. und Mantoura, R.F.C. (1988): Grazing and degradation of algal pigments by marine protozoan *Oxyrrhis marina*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 119, 119-129.
- Becquevort, S., Mathot, S. und Lancelot, C. (1992): Interactions in the microbial community of the marginal ice zone of the northwestern Weddell Sea through size distribution analysis. In: Weddell Sea Ecology. (G. Hempel, ed.). Springer Verlag, Berlin. pp. 211-218.
- Beers, J.R. und Stewart, G.L. (1969): The vertical distribution of micro-zooplankton and some ecological observations. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer., 33, 30-44.

- Beers, J.R. und Stewart, G.L. (1970): The ecology of the plankton off LaJolla, California in the period April-Sept., 1967. Part VI. Numerical abundance and estimated biomass of microzooplankton. Bull. Scripps Instn. Oceanogr. (New Ser.), 17, 67-87.
- Beers, J.R. und Stewart, G.L. (1971): Microzooplankters in the plankton communities of the upper waters of the eastern tropical Pacific. Deep-Sea Res., 18, 861-883.
- Beers, J.R., Reid, F.M.H. und Stewart, G.L. (1975): Microzooplankton of the North Pacific Central Gyre. Population structure and abundance, June 1973. Int. Revue ges. Hydrobiol., 60, 607-638.
- Beers, J.R., Reid, F.M.H. und Stewart, G.L. (1980): Microplankton population structure in the southern California nearshore waters in late spring. Mar. Biol., 60, 607-683.
- Berk, S.G., Brownlee, D.C., Heinle, D.R., Kling, H.J. und Colwell, R.R. (1977): Ciliates as a food source for marine planktonic copepods. Microb. Ecol., 4, 27-42.
- Bjørnsen, P.K. und Kuparinen, J. (1991): Growth and herbivory by heterotrophic dinoflagellates in the Southern Ocean, studied by microcosm experiments. Mar. Biol., 109, 397-405.
- Blaume, F. (1992): Hochakkumulationsgebiete am norwegischen Kontinentalhang: Sedimentologische Abbilder Topographie-geführter Strömungsmuster. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 36, 1-150.
- Bolms, G. (1986): Zur Verteilung des Mikrozooplanktons in der Framstrasse zwischen Grönland und Spitzbergen. Diplomarbeit, Univ. Kiel. pp. 135.
- Bröckel, K. von (1981): The importance of nanoplankton within the pelagic antarctic ecosystem. Kieler Meeresforsch. Sonderh., 5, 61-67.
- Buck, K.R. und Garrison, D.L. (1988): Distribution and abundance of choanoflagellates (Acanthoecidae) across the ice-edge zone in the Weddell Sea, Antarctic. Mar. Biol., 98, 263-269.
- Burkill, P.H. (1982): Ciliates and other microplankton components of a nearshore foodweb: Standing stocks and production processes. Annls. Inst. Océanogr., Paris (N.S.), 58, 335-350.
- Burkill, P.H., Mantoura, R.F.C., Llewellyn, C.A. und Owens, N.J.P. (1987): Microzooplankton grazing and selectivity of phytoplankton in coastal waters. Mar. Biol., 93, 581-590.
- Campbell, L. und Carpenter, E.J. (1986): Estimating the grazing pressure of heterotrophic nanoplankton on *Synechococcus* spp. using the sea water and selective inhibitor techniques. Mar. Ecol. Prog. Ser., 33, 121-129.
- Capriulo, G.M. und Carpenter, E.J. (1980): Grazing by 35 to 202 μm micro-zooplankton in Long Island Sound. Mar. Biol., 56, 319-326.
- Capriulo, G.M. und Carpenter, E.J. (1983): Abundance, species composition and feeding impact of tintinnid microzooplankton in central Long Island Sound. Mar. Ecol. Prog. Ser., 10, 277-288.
- Capriulo, G.M. und Degnan, C. (1991): Effect of food concentration on digestion and vacuole passage time in the heterotrichous marine ciliate *Fibrea salina*. Mar. Biol., 110, 199-202.

- Carmack, E.C. und Aagaard, K. (1973): On the deep water of the Greenland Sea. *Deep-Sea Res.*, 20, 687-715.
- Caron, D.A. (1983): Technique For Enumeration of Heterotrophic and Phototrophic Nanoplankton, Using Epifluorescence Microscopy, and Comparison with Other Procedures. *Appl. Environ. Microbiol.*, 46, 491-498.
- Corliss, J.O. (1979): The Ciliated Protozoa. Characterization, classification and guide to the literature. Pergamon Press, New York.
- Cucci, T.L., Shumway, S.E., Newell, R.C., Selvin, R., Guillard, R.R.L. und Yentsch, C.M. (1985): Flow cytometry: A new method for characterization of differential ingestion, digestion and egestion by suspension feeders. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 24, 201-204.
- Cushing, D.H. und Walsh, J.J. (1976): The ecology of the seas. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Daniault, N., Ménard, Y. und Gonella, J. (1983): Eddy kinetic energy distribution in the Southern Ocean from SEASAT altimeter and FGGE drifting bouys. In: Large-scale oceanographic experiments and satellites. (C. Gautier und C. Fieux M, eds.). Reidel, Dordrecht, pp. 41-56.
- Dickson, R.R., Gmitrowicz, E.M. und Watson, A.J. (1990): Deep water renewal in the northern North Atlantic. *Nature*, 344, 848-850.
- Dolan, J.R. und Coats, D.W. (1991): Changes in fine-scale vertical distributions of ciliate microzooplankton related to anoxia in Chesapeake Bay waters. *Mar. Microb. Food Webs*, 5(1), 81-93.
- Edler, E. (1979): Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. *The Baltic Marine Biologists*, 5, 1-38.
- Eppley, R.W. (1972): Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull.*, 70, 1063-1085.
- Eppley, R.W., Coatsworth, J.L. und Solorzano, L. (1969a): Studies of nitrate reductase in marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 194-205.
- Eppley, R.W., Rogers, J.N. und McCarthy, J.J. (1969b): Half-saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 912-920.
- Evans, G.T. und Paranjape, M.A. (1992): Precision of estimates of phytoplankton growth and microzooplankton grazing when the functional response of grazers may be nonlinear. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 80, 285-290.
- Falkowski, P.G., Vidal, J., Hopkins, T.S., Rowe, G.T., Whitley, T.E. und Harrison, W.G. (1983): Summer nutrient dynamics in the Middle Atlantic Bight: primary production and utilization of phytoplankton carbon. *J. Plankton Res.*, 5, 515-537.
- Fenner, J., Schrader, H.-J. und Wienigk, H. (1976): III. Diatom phytoplankton studies in the southern Pacific Ocean, composition and correlation to the Antarctic Convergence and its paleoecological significance. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Projekt, 35, 757-813.
- Foldvik, A., Aagaard, K. und Torresen, T. (1988): On the velocity field of the East Greenland Current. *Deep-Sea Res.*, 35, 1143-1150.

- Forster, T.D. (1984): The marine environment. In: Antarctic Ecology. (R.M. Laws, ed.). Academic Press, London. pp. 345-371.
- Forster, T.D. und Carmack, E.C. (1976): Temperature and salinity structure in the Weddell-Sea. J. Phys. Oceanogr., 6, 36-44.
- Gaines, G. und Elbrächter, M. (1987): Heterotrophic nutrition. In: The Biology of Dinoflagellates. (F.J.R. Taylor, ed.). Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 224-268.
- Gaines, G. und Taylor, F.J.R. (1984): Extracellular digestion in marine dinoflagellates. J. Plankton Res., 6, 1057-1062.
- Gallegos, C.L. (1989): Microzooplankton grazing on phytoplankton in the Rhode River, Maryland: nonlinear feeding kinetics. Mar. Ecol. Prog. Ser., 57, 23-33.
- Gast, V. (1985): Bacteria as food source for microzooplankton in the Schlei Fjord and Baltic Sea with special reference to ciliates. Mar. Ecol. Prog. Ser., 22, 107-120.
- Geider, R. (1989): Use of Radiolabeled Tracers in Dilution Grazing Experiments to Estimate Bacterial Growth and Loss Rates. Microb. Ecol., 17, 77-87.
- Gifford, D.J. (1985): Laboratory culture of marine planktonic oligotrichs (Ciliophora, Oligotrichida). Mar. Ecol. Prog. Ser., 23, 257-267.
- Gifford, D.J. (1988): Impact of grazing by microzooplankton in the northwest arm of Halifax Harbour, Nova Scotia. Mar. Ecol. Prog. Ser., 47, 249-258.
- Gifford, D.J. und Dagg, M.J. (1988): Feeding of the estuarine copepod *Acartia tonsa* Dana: Carnivory vs. herbivory in natural microplankton assemblages. Bull. Mar. Sci., 43, 458-468.
- Gifford, D.J. und Dagg, M.J. (1991): The microzooplankton - mesozooplankton link: consumption of planktonic Protozoa by the calanoid copepod *Acartia tonsa* Dana and *Neocalanus plumchrus* Murukawa. Mar. Microb. Food Webs, 5, 161-171.
- Goeyens, L., Tréguer, P., Lancelot, C., Mathot, S., Becquevort, S., Morvan, J., Dehairs, F. und Baeyens, W. (1991): Ammonium regeneration in the Scotia-Weddell-Confluence area during spring 1988. Mar. Ecol. Prog. Ser., 78, 241-252.
- Gradinger, R. (1990): Zur Bedeutung des Pico- und Nanoplanktons in polaren Regionen am Beispiel der Grönländischen See. Ber. Inst. Meeresk. Kiel, 196, 1-162.
- Grasshoff, K., Erhard, M. und Kremling, K. (1983): Methods of sea water analysis. Verlag Chemie, Weinheim.
- Haas, L.W. (1982): Improved epifluorescence microscopy for observing planktonic microorganisms. Annls. Inst. Océanogr., Paris (N.S.), 58, 261-266.
- Hart, T.J. (1934): On the phytoplankton of the South-west Atlantic and the Bellingshausen Sea, 1929-31. Discovery Rep., 8, 1-268.
- Hart, T.J. (1942): Phytoplankton periodicity in Antarctic surface waters. Discovery Rep., 21, 261-356.
- Heinbokel, J.F. (1978a): Studies on the Functional Role of Tintinnids in the Southern California Bight. I. Grazing and growth Rates in Laboratory Cultures. Mar. Biol., 47, 177-189.

- Heinbokel, J.F. (1978b): Studies on the functional role of tintinnids in the Southern California Bight. II. Grazing rates of field populations. *Mar. Biol.*, 47, 191-197.
- Heinbokel, J.F. und Beers, J.R. (1979): Studies on the functional role of tintinnids in the Southern California Bight. III. Grazing impact of natural assemblages. *Mar. Biol.*, 52, 23-32.
- Heinle, D.R. und Flemer, D.A. (1975): Carbon requirements of a population of the estuarine copepod *Eurytemora affinis*. *Mar. Biol.*, 31, 235-247.
- Hentschel, E. (1932): Die biologischen Methoden und das biologische Beobachtungsmaterial der Meteor-Expedition. *Wiss. Ergeb. Dtsch. Atlant. Exped. "Meteor"*, 10, 151-364.
- Hewes, C.D., Holm-Hansen, O. und Sakshaug, E. (1985): Alternate Carbon Pathways at Lower Trophic Levels in the Antarctic Food Web. In: *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*. (W.R. Siegfried, P.R. Condy und R.M. Laws, eds.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 277-283.
- Hewes, C.D., Sakshaug, E., Reid, F.M.H. und Holm-Hansen, O. (1990): Microbial autotrophic and heterotrophic eucaryotes in Antarctic waters: relationship between biomass and chlorophyll, adenosine triphosphate and particulate organic carbon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 63, 27-35.
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C.J., Holmes, R.W. und Strickland, J.D.H. (1965): Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 30, 3-15.
- Horan, P.K. und Wheelless, L.L., Jr. (1977): Quantitative single cell analysis and sorting. *Science*, 198, 149-157.
- Hustedt, F. (1930): Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. Band VII. Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. Teil I und II. Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H Leipzig, (Autorisierter Nachdruck Johnson Reprint Corporation New York 1962).
- Jacobson, D.M. und Anderson, D.M. (1986): Thecate heterotrophic dinoflagellates: Feeding behavior and mechanisms. *J. Phycol.*, 22, 249-258.
- Jeffrey, S.W. und Humphrey, G.F. (1975): New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanz.*, 167, 191-194.
- Johannes, R.E. (1964): Phosphorus excretion as related to body size in marine animals: microzooplankton and nutrient regeneration. *Science*, 146, 923-924.
- Johannes, R.E. (1965): Influence of marine Protozoa on nutrient regeneration. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 434-442.
- Johannessen, O.M. (1986): Brief overview of the physical oceanography. In: *The North Seas*. (B.C. Hurdle, ed.). Springer Verlag, pp. 102-127.
- Joint, J.R. und Williams, R. (1985): Demands of the herbivore community on phytoplankton production in the Celtic Sea in August. *Mar. Biol.*, 87, 297-306.
- Jonsson, P.R. (1986): Particle size selection, feeding rates and growth dynamics of marine planktonic oligotrichous ciliates (Ciliophora: Oligotrichina). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 33, 265-277.

- Jonsson, P.R. (1987): Photosynthetic assimilation of inorganic carbon in marine oligotrich ciliates (Ciliophora, Oligotrichina). *Mar. Microb. Food Webs*, 2, 55-68.
- Kahl, A. (1930): Urtiere oder Protozoa. I. Wimpertiere oder Ciliata. 1. Allgemeiner Teil und Prostomata. In: *Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile*. (F. Dahl, ed.). Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Kahl, A. (1931): 2. Holotricha (außer den im 1. Teil behandelten Prostomata). In: *Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile*. (F. Dahl, ed.). Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Kahl, A. (1932): 3. Spirotricha. In: *Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile*. (F. Dahl, ed.). Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Kahl, A. (1935): 4. Peritricha, Chonotricha. In: *Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile*. (F. Dahl, ed.). Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Klein, B., Gieskes, W.W.C. und Kraay, G.G. (1986): Digestion of chlorophylls and carotenoids by the marine protozoan *Oxyrrhis marina* studied by h.p.l.c. analysis of algal pigments. *J. Plankton Res.*, 8, 827-836.
- Klöser, H. (1991): Verteilung von Mikroplankton-Organismen nordwestlich der Antarktischen Halbinsel unter dem Einfluß sich ändernder Umweltbedingungen im Herbst. *Ber. Polarforsch.*, 77.
- Kofoed, C.A. und Campbell, A.S. (1929): A conspectus of the marine and fresh-water Ciliata belonging to the suborder Tintinnoidea, with descriptions of new species principally from the Agassiz Expedition to the eastern Tropical Pacific. *Univ. Calif. Publ. Zool.*, 34, 1-403.
- Landry, M.R. und Hassett, R.P. (1982): Estimating the grazing impact of marine microzooplankton. *Mar. Biol.*, 67, 283-288.
- Landry, M.R., Haas, L.W. und Fagerness, V.L. (1984): Dynamics of microbial plankton communities: experiments in Kaneohe Bay, Hawaii. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 16, 127-133.
- Leakey, R.J.G., Burkill, P.H. und Sleigh, M.A. (1988): A comparison of fixatives for the quantification of pelagic ciliate populations (Abstract). In: *Protozoa and their role in marine processes*. (P.H. Burkill und P.C. Reid, eds.). NATO ASI Workshop, Plymouth, 1988.
- Lee, J.J., Small, E.B., Lynn, D.H. und Bovee, E.C. (1985): Some techniques for collecting, cultivating and observing protozoa. In: *An Illustrated Guide to the Protozoa*. (J.J. Lee, S.H. Hutner und E.C. Bovee, eds.). Allen Press Inc., Kansas, USA.
- Leegard, C. (1915): Untersuchungen über einige Planktonciliaten des Meeres. *Nyt. Mag. f. Naturv.*, 53, 1-37.
- Lenz, J. (1977): On detritus as a food source for pelagic filter-feeders. *Mar. Biol.*, 41, 39-48.
- Leppänen, J.-M. und Brunn, J.-E. (1986): The role of pelagic ciliates including the autotrophic *Mesodinium rubrum* during the spring bloom of 1982 in the northern Baltic proper. *Ophelia*, 4 (Suppl.), 147-157.
- Lessard, E.J. (1991): The trophic role of heterotrophic dinoflagellates in diverse marine environments. *Mar. Microb. Food Webs*, 5 (1), 49-58.

- Lessard, E.J. und Rivkin, R.B. (1986): Nutrition of microzooplankton and macrozooplankton from McMurdo Sound. *Antarct. J. U.S.*, 21, 187-188.
- Lessard, E.J. und Swift, E. (1985): Species-specific grazing rates of heterotrophic dinoflagellates in oceanic waters, measured with a dual-label radioisotope technique. *Mar. Biol.*, 87, 289-296.
- Lessard, E.J., Brownlee, D.C., Sellner, K. und Caron, D.A. (1988): Role of microzooplankton biomass, growth, and grazing in plankton dynamics in Chesapeake Bay. *EOS*, 69, 1103.
- Litaker, W., Duke, C.S., Kenney, B.E. und Ramus, J. (1988): Diel chl a and phaeopigment cycles in a shallow tidal estuary: potential role of microzooplankton grazing. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 47, 259-270.
- Lohmann, H. (1908): Untersuchungen zur Feststellung des vollständigen Gehaltes des Meeres an Plankton. *Wiss. Meeresunters. Kiel*, 10, 129-370.
- Longhurst, A.R. (1981): *Analysis of Marine Ecosystems*. Academic Press, London.
- Lorenzen, C.J. (1967): Vertical distribution of chlorophyll and phaeopigments: Baja California. *Deep Sea Res.*, 14, 735-745.
- Mackas, D.L. und Boyd, C.M. (1979): Spectral analysis of zooplankton spatial heterogeneity. *Science*, 204, 62-64.
- Maeda, M. (1986): An illustrated guide to the species of the families Halteriidae and Strobilidiidae (Oligotrichida, Ciliophora), free swimming protozoa common in the aquatic environment. *Bull. Ocean Res. Inst. Univ. Tokyo*, 21, 1-67.
- Maeda, M. und Carey, P.G. (1985): An illustrated guide to the species of the family Strombidiidae (Oligotrichida, Ciliophora), free swimming protozoa common in the aquatic environment. *Bull. Ocean Res. Inst. Univ. Tokyo*, 19, 1-68.
- Malone, T. (1980a): Algal size. In: *The physiological ecology of phytoplankton*. (I. Morris, ed.). University California Press, 433-463.
- Malone, T.C. (1971): The relative importance of net plankton as primary producers in neritic and oceanic tropical waters. *Limnol. Oceanogr.*, 16, 633-639.
- Malone, T.C. (1980b): Size-fractionated primary productivity of marine phytoplankton. In: *Primary productivity in the sea*. (P.G. Falkowski, ed.). Plenum Press, New York, 301-320.
- McManus, G.B. und Fuhrman, J.A. (1986): Photosynthetic pigments in the ciliate *Laboea strobila* from Long Island Sound, USA. *J. Plankton Res.*, 8, 317-327.
- Medlin, L.K. und Priddle, J. (1990): *Polar Marine Diatoms*. Publication of the British Antarctic Survey.
- Meunier, A. (1910): Microplankton des mers de Barents et de Kara. In: *Duc d'Orleans, Campagne Arctique de 1907*. (C. Bulens, ed.). Bulen, Bruxelles, pp. 355.
- Meyer, M.A. und El-Sayed, S.Z. (1983): Grazing of *Euphausia superba* Dana on natural phytoplankton populations. *Polar Biol.*, 1, 193-197.

- Montagnes, D.J.S., Lynn, D.H., Roff, J.C. und Taylor, W.D. (1988): The annual cycle of heterotrophic planktonic ciliates in the waters surrounding the Isles of Shoals, Gulf of Maine: An assessment of their trophic role. *Mar. Biol.*, 99, 21-30.
- Murphy, L.S. und Haugen, E.M. (1984): The distribution and abundance of phototrophic ultraplankton in the North Atlantik. *Limnol. Oceanogr.*, 30, 47-58.
- Nival, P. und Nival, S. (1976): Particle retention efficiencies of an herbivorous copepod, *Acartia clausii* (adult and copepodit stages): Effects on grazing. *Limnol. Oceanogr.*, 21, 24-38.
- Nöthig, E.-M., Bodungen, B.v. und Sui, Q. (1991): Phyto- and protozooplankton biomass during austral summer in surface waters of the Weddell Sea and vicinity. *Polar Biol.*, 11, 293-304.
- Ohman, M.D. und Snyder, R.A. (1991): Growth kinetics of the omnivorous oligotrich ciliate *Strombidium* sp. *Limnol. Oceanogr.*, 35 (5), 922-935.
- Paffenhöfer, G.-A. (1984): Calanoid copepod feeding: grazing on small and large particles. In: Trophic interactions within aquatic ecosystems. (D.G. Meyers und J.R. Strickler, eds.). Boulder, Westview Press, pp. 75-95.
- Paffenhöfer, G.-A. und Knowles, S.C. (1980): Omnivorousness in marine planktonic copepods. *J. Plankton Res.*, 2, 355-365.
- Paranjape, M.A., Conover, R.J., Harding, G.C. und Prouse, N.J. (1985): Micro- and Macrozooplankton on the Nova Scotian Shelf in the Prespring Bloom Period: A Comparison of Their Potential Resource Utilization. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42, 1484-1492.
- Paranjape, M.A. (1987): The seasonal cycles and vertical distribution of tintinnines in Bedford Basin, Nova Scotia, Canada. *Can. J. Zool.*, 65, 41-48.
- Paranjape, M.A. (1988): Microzooplankton in Lancaster Sound (eastern Canadian Arctic) in summer: Biomass and distribution. *Deep-Sea Res.*, 35, 1547-1563.
- Paranjape, M.A. (1990): Microzooplankton herbivory on the Grand Bank (Newfoundland, Canada): A seasonal study. *Mar. Biol.*, 107, 321-328.
- Park, Y.H., Gamberoni, L. und Charriaud, E. (1991): Frontal structure and transport of the Antarctic Circumpolar Current in the South Indian Ocean sector, 40-80°E. *Mar. Chem.*, 35, 45-62.
- Parsons, T.R., Takahashi, M. und Hargrave, B. (1984): Biological oceanographic processes. Pergamon Press, Oxford.
- Phillips, N.W. (1984): Role of different microbes and substrates as potential suppliers of specific, essential nutrients to marine detritivores. *Bull. Mar. Sci.*, 35, 283-298.
- Platt, T., Subba Rao, D.V. und Irwin, B. (1983): Photosynthesis of picoplankton in the oligotrophic ocean. *Nature*, 310, 702-704.
- Porter, K.D., Pace, M.L. und Battey, J.F. (1979): Ciliate protozoans as links in freshwater food chains. *Nature*, 277, 563-565.
- Price, H.J. und Paffenhöfer, G.-A. (1985): Perception of food availability by calanoid copepods. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 21, 115-124.

- Provasoli, L. (1977): 5. Cultivation of animals. 5.1. Research cultivation. 5.11 Axenic cultivation. In: Marine ecology. (O. Kinne, ed.). John Wiley & Sons, New York. pp. 1295-1320.
- Putt, M. (1990): Abundance, chlorophyll content and photosynthetic rates of ciliates in the Nordic Seas during summer. *Deep-Sea Res.*, 37, 1713-1731.
- Putt, M. und Stoecker, D.K. (1989): An experimentally determined carbon:volume ratio for marine "oligotrichous" ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1097-1103.
- Quadfasel, D., Gascard, J. und Koltermann, K.P. (1987): Large mesoscale oceanography in the Fram Strait during the 1984 Marginal Ice Zone Experiment. *J. Geophys. Res.*, 92, 6719-6728.
- Rassoulzadegan, F. und Etienne, M. (1981): Grazing rate of the tintinnid *Stenosemella ventricosa* (Clap. & Lachm.) Jörg. on the spectrum of the naturally occurring particulate matter from a Mediterranean neritic area. *Limnol. Oceanogr.*, 26(2), 258-270.
- Rublee, P.A. und Gallegos, C.L. (1989): Use of fluorescently labelled algae (FLA) to estimate microzooplankton grazing. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 51, 221-227.
- Rudels, B. (1989): The formation of polar surface water, the ice export and the exchange through the Fram Strait. *Prog. Oceanogr.*, 22, 205-248.
- Sakshaug, E. und Holm-Hansen, O. (1984): Factors governing pelagic production. In: Marine phytoplankton and productivity. (O. Holm-Hansen, L. Bolis und R. Gilles, eds.). Springer Verlag, Berlin. pp. 1-18.
- Sanders, R.W. (1987): Tintinnids and other microzooplankton - seasonal distributions and relationships to resources and hydrography in a Maine estuary. *J. Plankton Res.*, 9, 65-77.
- Sanders, R.W. und Porter, K.G. (1986): Use of Metabolic Inhibitors to Estimate Protozooplankton Grazing and Bacterial Production in a Monomictic Eutrophic Lake with an Anaerobic Hypolimnion. *Appl. Environ. Microbiol.*, 52(1), 101-107.
- Scharek, R. (1991): Die Entwicklung des Phytoplanktons im östlichen Weddellmeer (Antarktis) beim Übergang vom Spätwinter zum Frühjahr. *Ber. Polarforsch.*, 94.
- Schiller, J. (1930): Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. X.Band Flagellatae. III.Abteilung Dinoflagellatae (Peridineae). 1. Teil. Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig, (Autorisierter Reprint, Johnson Reprint Corporation, New York, London, 1971).
- Schiller, J. (1937): Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. X. Band Flagellatae. III. Abteilung Dinoflagellatae (Peridineae). 2. Teil. Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig, (Autorisierter Reprint, Johnson Reprint Corporation, New York, London, 1971).
- Scott, J.M. (1980): Effect of growth rate of the food alga on the growth/ingestion efficiency of a marine herbivore. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 60, 681-702.
- Seki, H. und Kennedy, O.D. (1969): Marine bacteria and other heterotrophs as food for zooplankton in the Strait of Georgia during the winter. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 26, 3165-3173.

- Sheldon, R.W., Nival, P. und Rassoulzadegan, F. (1986): An experimental investigation of a flagellate-ciliate-copepod food chain with some observations relevant to the linear biomass hypothesis. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 184-188.
- Sherr, B. und Sherr, E. (1983a): Enumeration of heterotrophic microprotozoa by epifluorescence microscopy. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 16, 1-7.
- Sherr, E.B. und Sherr, B.F. (1983b): Double-staining epifluorescence technique to assess frequency of dividing cells and bacteriovory in natural population of heterotrophic microprotozoa. *Appl. Environ. Microbiol.*, 46, 1388-1393.
- Sherr, E.B. und Sherr, B.F. (1987): High rates of consumption of bacteria by pelagic ciliates. *Nature*, 325, 710-711.
- Sherr, E.B. und Sherr, B.F. (1988): Role of microbes in pelagic food webs: A revised concept. *Limnol. Oceanogr.*, 33, 1225-1227.
- Sherr, E.B., Sherr, B.F. und Paffenhöfer, G.-A. (1986): Phagotrophic Protozoa as Food for Metazoans: a "Missing" Trophic Link in Marine Pelagic Food Webs? *Mar. Microb. Food Webs*, 1, 61-80.
- Sieburth, J.M., Smetacek, V. und Lenz, J. (1978): Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 1256-1263.
- Sieburth, J.McN. (1979): Sea microbes. Oxford University Press, New York. pp. 491.
- Smetacek, V. (1981): The annual cycle of protozooplankton in the Kiel Bight. *Mar. Biol.*, 63, 1-11.
- Smetacek, V., Scharek, R. und Nöthig, E.-M. (1990): Seasonal and regional variation in the pelagial and its relationship to the life history cycle of krill. In: Antarctic ecosystems. Ecological change and conservation. (K.R. Kerry und G. Hempel, eds.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. pp. 103-114.
- Smethie, W.M.J., Ostlund, H.G. und Loosli, H.H. (1986): Ventilation of the deep Greenland and Norwegian Seas: evidence from krypton-85, tritium, carbon-14 and argon-39. *Deep-Sea Res.*, 33, 675-703.
- SooHoo, J.B. und Kiefer, D.A. (1982): Vertical distribution of phaeopigments - 1. A simple grazing and photooxidative scheme for small particles. *Deep-Sea Res.*, 29, 1539-1551.
- Spero, H.J. (1982): Phagotrophy in *Gymnodinium fungiforme* (Pyrrhophyta): the peduncle as an organelle of ingestion. *J. Phycol.*, 18, 356-360.
- Spittler, P. (1973): Feeding experiments with tintinnids. *Oikos*, supplement, 15, 128-132.
- Steemann Nielsen, E. (1937): On the relation between the quantities of phytoplankton and zooplankton in the sea. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 12, 147-154.
- Steemann Nielsen, E. (1952): The use of radioactive Carbon (C14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 18, 117-140.
- Steen, H.B. (1990): Characteristics of flow cytometers. In: Flow cytometry and sorting. (M.R. Melamed, T. Lindmo und M.L. Mendelsohn, eds.). Wiley-Liss, New York. pp. 11-25.
- Stoecker, D.K. (1987): Large proportions of marine planktonic ciliates found to contain functional chloroplasts. *Nature*, 326, 790-792.

- Stoecker, D.K. (1991): Mixotrophy in marine planktonic ciliates: physiological and ecological aspects of plastid retention by oligotrichs. In: Protozoa and their role in marine processes. (P.C. Reid, C.M. Turley und P.H. Burkil, eds.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio. pp. 161-179.
- Stoecker, D.K. und Capuzzo, J.M. (1990): Predation on Protozoa: Its importance to zooplankton. J. Plankton Res., 12, 891-908.
- Stoecker, D.K. und Egloff, D.A. (1987): Predation by *Acartia tonsa* Dana on planktonic ciliates and rotifers. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 110, 53-68.
- Stoecker, D.K. und Silver, M.W. (1990): Replacement and aging of chloroplasts in *Strombidium capitatum* (Ciliophora: Oligotrichida). Mar. Biol., 107, 491-502.
- Stoecker, D.K., Cucci, T.L., Hulburt, E.M. und Yentsch, C.M. (1986): Selective feeding by *Balanion* sp. (Ciliata: Balanionidae) on phytoplankton that best support its growth. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 95, 113-130.
- Stoecker, D.K., Davis, L.H. und Anderson, D.M. (1984): Fine scale spatial correlations between planktonic ciliates and dinoflagellates. J. Plankton Res., 6, 829-842.
- Stoecker, D.K., Davis, L.H. und Provan, A. (1983): Growth of *Favella* sp. (Ciliata: Tintinnina) and other microzooplankters in cages incubated *in situ* and comparison to growth *in vitro*. Mar. Biol., 75, 293-302.
- Stoecker, D.K., Guillard, R.R.L. und Kavee, R.M. (1981): Selective predation by *Favella ehrenbergii* (Tintinnina) on and among dinoflagellates. Biol. Bull. mar. biol. Lab., Woods Hole, 160, 136-145.
- Stoecker, D.K., Silver, M.W., Michaels, A.E. und Davis, L.H. (1988a): Enslavement of Algal Chloroplasts by Four *Strombidium* spp. (Ciliophora, Oligotrichida). Mar. Microb. Food Webs, 3 (2), 79-100.
- Stoecker, D.K., Silver, M.W., Michaels, A.E. und Davis, L.H. (1988b): Obligate mixotrophy in *Laboea strobila*, a ciliate which retains chloroplasts. Mar. Biol., 99, 415-423.
- Stoecker, D.K., Taniguchi, A. und Michaels, A.E. (1989): Abundance of autotrophic, mixotrophic and heterotrophic plankton ciliates in shelf and slope waters. Mar. Ecol. Prog. Ser., 50, 241-254.
- Strom, S.L. (1991): Growth and grazing rates of the herbivorous dinoflagellate *Gymnodinium* sp. from the open subarctic Pacific Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser., 78, 103-113.
- Suttle, C.A., Chan, A.M., Taylor, W.D. und Harrison, P.J. (1986): Grazing of planktonic diatoms by microflagellates. J. Plankton Res., 8, 393-398.
- Swift, J.H. (1984): The circulation of the Denmark Strait an the Iceland-Scotland overflow waters in the North Atlantic. Deep-Sea Res., 31, 1339-1355.
- Swift, J.H. und Aagaard, K. (1981): Seasonal transitions and water mass formation in the Iceland and Greenland Seas. Deep-Sea Res., 28, 1107-1129.
- Takahashi, M. und Hoskins, K.D. (1978): Winter conditions of marine plankton populations in Saanich Inlet, B.C. Canada. II. Microzooplankton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 32, 27-37.
- Taniguchi, A. (1984): Microzooplankton biomass in the Arctic and subarctic Pacific Ocean in summer. Proceedings Of The Sixth Symposium On Polar Biology, MEM, 63-80.

- Taylor, F.J.R. (1987): Ecology of dinoflagellates. A. General and Marine Ecosystems. In: The Biology of Dinoflagellates. (F.J.R. Taylor, ed.). Blackwell Scientific Publications, pp. 398-502.
- Tibbs, J.F. (1967): On some planktonic protozoa taken from the track of the drift station, ARLIS I, 1960-61. Arctic, 20, 247-254.
- Tillmann, U. (1993): Die herbstliche Planktonentwicklung in einem norwegischen Fjord. Verlag Zimmermann & Co., Viersen. pp. 263.
- Tilzer, M.M., Bodungen, B.v. und Smetacek, V. (1985): Light-dependence of phytoplankton photosynthesis in the Antarctic Ocean: implications for regulating productivity. In: Antarctic nutrient cycles and food webs. (W.R. Siegfried, P.R. Condy und R.M. Laws, eds.). Springer Verlag, Berlin. pp. 277-283.
- Tiselius, P. (1989): Contribution of aloricate ciliates to the diet of *Acartia clausi* and *Centropages hamatus* in coastal waters. Mar. Ecol. Prog. Ser., 56, 49-56.
- Tréguer, P. und Jacques, G. (1992): Dynamics of nutrients and phytoplankton, and fluxes of carbon, nitrogen and silicon in the Antarctic Ocean. Polar Biol., 12, 149-162.
- Tremaine, S.C. und Mills, A.L. (1987): Tests of the critical assumptions of the dilution method for estimating bacterivory by microeucaryotes. Appl. Environ. Microbiol., 53, 2914-2921.
- Trenkel, V. (1992): Untersuchungen zu trophischen Beziehungen der Organismen im "Microbial Loop". Diplomarbeit, Univ. Kiel. pp. 89.
- Utermöhl, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. intern. Ver. Limnol., 2, 1-38.
- Venrick, E.L. (1978): How many cells to count? In: Phytoplankton Manual. (A. Sournia, ed.). Monographs of the oceanographic methodology 6, pp. 167-180.
- Verity, P.G. (1986a): Grazing of phototrophic nanoplankton by microzooplankton in Narragansett Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser., 29, 105-115.
- Verity, P.G. (1986b): Growth rates of natural tintinnid populations in Narragansett Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser., 29, 117-126.
- Verity, P.G. (1991): Measurement and simulation of prey uptake by marine planktonic ciliates fed plastidic and aplastidic nanoplankton. Limnol. Oceanogr., 36 (4), 729-750.
- Vincent, W.F. (1988): Microbial ecosystems of Antarctica. Cambridge University Press, Cambridge.
- Waterbury, J.B., Watson, S.W., Valois, F.W. und Franks, D.G. (1986): Biological and ecological characterization of the unicellular cyanobacterium *Synechococcus*. In: Photosynthetic Picoplankton. (T. Platt und W.K.W. Li, eds.). Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 214, pp. 71-120.
- Weber, L.H. und El-Sayed, S.Z. (1988): Contribution of the net, nano- and picoplankton to the phytoplankton standing crop and primary productivity in the Southern Ocean. J. Plankton Res., 2, 973-994.
- Welschmeyer, N.A. und Lorenzen, C.J. (1985a): Chlorophyll budgets: Zooplankton grazing and phytoplankton growth in a temperate fjord and the Central Pacific Gyres. Limnol. Oceanogr., 30, 1-21.

LITERATURVERZEICHNIS

- Welschmeyer, N.A. und Lorenzen, C.J. (1985b): Role of herbivory in controlling phytoplankton abundance: annual pigment budget for a temperate marine fjord. *Mar. Biol.*, 90, 75-86.
- Zeitzschel, B. (1966): Die Verbreitung der Tintinnen im Nordatlantik. *Veröff. Inst. Meeresforsch.*, 2, 293-300.

Anhang

Tabelle 1: Phytoplankton-Biomasse (PPC) während der METEOR-Expedition M17/1

Station	Tiefe [m]	Diatomeen [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	Dinoflagellaten [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	andere [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	PPC, gesamt [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	PPC, gesamt [$\text{mg C}\cdot\text{m}^{-2}$]
375	6	1,99	49,94	0,00	51,92	635,43
	10	5,00	11,69	1,69	18,37	
	16	2,94	23,33	1,32	27,60	
	25	4,88	3,33	1,64	9,85	
	30	8,76	2,79	0,76	12,31	
	50	0,16	0,38	0,44	0,99	
396	0	10,43	25,12	0,25	35,80	821,76
	6	10,23	19,44	0,75	30,42	
	11	5,87	7,33	0,53	13,73	
	14	5,32	19,53	0,39	25,24	
	20	4,08	29,78	0,78	34,64	
	26	3,09	5,35	0,22	8,66	
	41	0,71	5,08	0,17	5,96	
	50	0,00	1,42	0,42	1,84	
400	0	20,09	23,17	0,88	44,14	1069,09
	4	30,67	26,97	0,71	58,35	
	8	24,11	18,45	0,61	43,17	
	15	20,35	12,33	0,89	33,57	
	18	23,70	11,15	1,19	36,04	
	30	0,07	3,87	0,43	4,37	
	45	0,00	1,23	0,48	1,71	
436	0	12,96	37,05	0,82	50,83	759,18
	8	12,96	17,85	1,28	32,09	
	16	3,28	2,48	0,81	6,57	
	21	4,91	12,06	0,79	17,76	
	33	1,42	4,50	0,17	6,09	
	50	0,00	1,82	0,20	2,02	
444	1	32,01	14,42	0,76	47,19	1117,74
	7	25,19	7,89	4,04	37,12	
	14	23,85	21,10	n.v.	44,95	
	18	14,79	6,16	0,57	21,52	
	27	18,11	7,71	3,12	28,94	
	40	0,53	1,67	2,33	4,53	
447	0	0,05	4,96	1,28	6,29	264,22
	4	15,55	2,59	0,88	19,02	
	8	2,67	2,38	0,67	5,72	
	15	0,09	1,45	1,57	3,11	
	19	0,65	2,30	2,02	4,97	
	30	0,00	2,53	1,20	3,73	
	50	0,01	2,80	0,38	3,19	

Tabelle 2: Mikrozooplankton-Abundanz während der METEOR-Expedition M17/1

Station	Tiefe [m]	CILIATEN					Ciliaten		heterotrophe		Protozoen	
		Strombidium spp. [Ind*l ⁻¹]	Strobilidium spp. [Ind*l ⁻¹]	andere [Ind*l ⁻¹]	loricate [Ind*l ⁻¹]	heterotriche [Ind*l ⁻¹]	gesamt [Ind*l ⁻¹]	Dinoflagellaten [Ind*l ⁻¹]	Foraminiferen [Ind*l ⁻¹]	Radiolarien [Ind*l ⁻¹]	gesamt [Ind*l ⁻¹]	
375	6	1017	0	0	565	0	1582	0	0	0	1582	
	10	2951	227	454	0	0	3632	0	0	0	3632	
	16	3178	0	0	0	0	3178	0	0	0	3178	
	25	2724	681	227	0	0	3632	0	0	0	3632	
	30	681	0	227	0	0	908	454	0	0	1362	
	50	452	113	0	0	0	565	0	0	0	565	
396	0	7938	0	0	0	0	7938	0	0	0	7938	
	6	7261	1361	0	0	0	8622	0	0	0	8622	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	14	454	0	0	0	0	454	0	0	0	454	
	20	908	0	0	0	0	908	0	0	0	908	
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	41	0	680	0	0	0	680	0	0	0	680	
	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
400	0	2722	908	0	0	0	3630	0	0	0	3630	
	4	1361	454	0	0	0	1815	0	0	0	1815	
	8	453	454	908	0	0	1815	0	0	0	1815	
	15	454	2269	0	0	0	2723	0	0	0	2723	
	18	0	908	454	0	0	1362	0	0	0	1361	
	30	0	454	0	0	0	454	0	0	0	454	
	45	0	0	227	0	0	227	0	0	0	227	
436	0	907	908	0	454	0	2269	0	0	0	2269	
	8	782	522	261	0	0	1565	3426	0	0	4991	
	16	0	869	0	348	0	1217	0	0	0	1217	
	21	1303	783	0	0	0	2086	2086	0	0	4172	
	33	174	174	174	0	0	522	3303	0	0	3825	
	50	0	298	0	0	0	298	1043	0	0	1341	
444	1	453	454	454	0	0	1361	0	0	0	1361	
	7	0	0	454	0	0	454	0	0	0	454	
	14	2723	454	1361	454	0	4992	0	0	0	4992	
	18	1815	0	454	0	0	2269	0	0	0	2269	
	27	1361	1361	908	0	0	3630	0	0	0	3630	
	40	104	1356	0	0	0	1460	0	0	0	1460	
447	0	244	1215	0	0	0	1459	0	0	0	1459	
	4	0	1459	0	0	0	1459	3889	0	0	5348	
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	15	729	243	0	0	0	972	1701	0	0	2673	
	19	486	324	0	0	0	810	1296	0	0	2106	
	30	649	486	0	0	0	1135	810	0	0	1945	
	50	121	122	122	0	0	365	1094	0	0	1459	

Tabelle 3: Mikrozooplankton-Biomasse während der METEOR-Expedition M17/1

Station	Tiefe [m]	Strombidium spp. [µg C·l ⁻¹]	Strobilidium spp. [µg C·l ⁻¹]	CILIATEN			Ciliaten gesamt [µg C·l ⁻¹]	heterotrophe Dinoflagellaten [µg C·l ⁻¹]	Foraminiferen [µg C·l ⁻¹]	Radiolarien [µg C·l ⁻¹]	Protozoen	
				andere [µg C·l ⁻¹]	loricate [µg C·l ⁻¹]	heterotriche [µg C·l ⁻¹]					gesamt [µg C·l ⁻¹]	gesamt [mg C·m ⁻²]
375	6	11,96	0,00	0,00	0,73	0,00	12,69	0,00	0,00	0,00	12,69	307,66
	10	12,78	1,42	9,14	0,00	0,00	23,32	0,00	0,00	0,00	23,32	
	16	2,79	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79	0,00	0,00	0,00	2,79	
	25	2,75	0,98	10,22	0,00	0,00	13,95	0,00	0,00	0,00	13,95	
	30	0,91	0,00	2,34	0,00	0,00	3,25	0,11	0,00	0,00	3,37	
	50	0,37	0,13	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	
396	0	4,78	0,00	0,00	0,00	0,00	4,78	0,00	0,00	0,00	4,78	136,17
	6	17,06	1,96	0,00	0,00	0,00	19,02	0,00	0,00	0,00	19,02	
	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	14	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,72	
	20	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,37	
	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	41	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,98	
	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
400	0	2,66	0,33	0,00	0,00	0,00	2,99	0,00	0,00	0,00	2,99	89,20
	4	6,22	0,31	0,00	0,00	0,00	6,53	0,00	0,00	0,00	6,53	
	8	0,31	0,27	2,58	0,00	0,00	3,16	0,00	0,00	0,00	3,16	
	15	0,31	2,29	0,00	0,00	0,00	2,60	0,00	0,00	0,00	2,60	
	18	0,00	0,18	2,13	0,00	0,00	2,31	0,00	0,00	0,00	2,31	
	30	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,19	
	45	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,91	
436	0	2,74	0,22	0,00	0,81	0,00	3,77	0,00	0,00	0,00	3,77	173,04
	8	2,15	0,53	3,31	0,00	0,00	5,99	0,31	0,00	0,00	6,30	
	16	0,00	0,40	0,00	4,66	0,00	5,06	0,00	0,00	0,00	5,06	
	21	0,98	0,24	0,00	0,00	0,00	1,22	0,24	0,00	0,00	1,46	
	33	0,25	0,04	3,50	0,00	0,00	3,79	0,31	0,00	0,00	4,10	
	50	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,17	0,16	0,00	0,00	0,33	
444	1	1,15	0,73	1,83	0,00	0,00	3,71	0,00	0,00	0,00	3,71	313,55
	7	0,00	0,00	1,43	0,00	0,00	1,43	0,00	0,00	0,00	1,43	
	14	13,52	0,35	9,09	0,55	0,00	23,51	0,00	0,00	0,00	23,51	
	18	4,76	0,00	3,03	0,00	0,00	7,79	0,00	0,00	0,00	7,79	
	27	2,87	0,68	6,06	0,00	0,00	9,61	0,00	0,00	0,00	9,61	
	40	0,37	0,78	0,00	0,00	0,00	1,15	0,00	0,00	0,00	1,15	
447	0	0,23	0,24	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,47	41,79
	4	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,64	0,89	0,00	0,00	1,53	
	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	15	0,63	0,09	0,00	0,00	0,00	0,72	0,16	0,00	0,00	0,88	
	19	0,31	0,14	0,00	0,00	0,00	0,45	0,11	0,00	0,00	0,56	
	30	0,97	0,18	0,00	0,00	0,00	1,15	0,03	0,00	0,00	1,18	
	50	0,29	0,04	0,07	0,00	0,00	0,40	0,34	0,00	0,00	0,74	

Tabelle 4: Die für die Berechnung des Biovolumens und der Biomasse angenommenen geometrischen Formen und die durchschnittliche Zellgröße einzelner Mikrozooplankton-Taxa während der METEOR-Expedition M17/1

	geometrische Form	Länge [µm]	Standartabw. [µm]	Durchmesser [µm]	Standartabw. [µm]
CILIATEN					
Strombidium sp.	Konus	49,60	18,83	31,97	12,57
Strombidium vestitum	Konus	32,00	7,07	21,00	8,49
Strombidium conicum	Konus	59,18	14,76	31,36	9,46
Strombidium emergens	Konus	51,00		51,00	
Strombidium ovale	Konus	32,00		14,00	
Strombidium acuminatum	Konus	34,00		17,00	
Strombidium cornucopiae	Konus	116,00	0,00	14,00	0,00
Strombidium compressum	Konus	46,00	8,49	21,50	3,54
Strobilidium spec.	Kugel			21,50	6,73
Strobilidium elegans	Kugel			16,60	2,12
Lohmaniella oviformis	Kugel			43,64	15,94
Metastrombidium spec.	Kugel			47,50	24,75
Tontonia spec.	Kugel			70,00	
Laboea strobila	Konus	128,00		52,00	
Ptychocylis obtusa	Konus	107,00		64,00	
Parafavella spec.	Konus	127,00		48,00	
Acanthostomella norwegica	Konus	39,33	0,58	31,33	3,21
DINOFLAGELLATEN					
Amphidinium longum	Rotations-Ellipsoid	30,00		12,00	
unidentifizierte heterotr. Dinoflagellaten	Rotations-Ellipsoid	22,81	10,91	11,86	4,70

Tabelle 5.1: Phytoplankton-Biomasse (PPC) während der POLARSTERN-Expedition ANT X/6

Station	Tiefe [m]	Diatomeen [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	Dinoflagellaten [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	andere [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	PPC [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	PPC [$\text{mg C}\cdot\text{m}^{-2}$]
870	20	0,68	2,16	0,31	3,15	236,80
	40	1,34	1,08	0,51	2,93	
	60	0,57	0,63	0,31	1,51	
	80	0,66	0,74	0,46	1,86	
	100	0,61	0,63	0,39	1,63	
877	20	6,84	4,05	0,77	11,66	1351,40
	40	14,75	6,25	0,36	21,36	
	60	9,28	2,40	0,64	12,32	
	80	10,57	2,60	0,60	13,77	
	100	3,38	1,51	0,37	5,26	
886	10	0,24	1,49	0,35	2,08	297,65
	20	1,39	2,20	0,56	4,15	
	40	0,56	1,64	0,22	2,42	
	60	0,68	1,33	0,69	2,70	
	80	0,98	0,60	0,28	1,86	
	100	0,29	5,65	0,52	6,46	
886/2	20	0,18	1,64	0,12	1,94	185,10
	40	0,16	3,00	0,22	3,38	
	60	0,26	0,82	0,19	1,27	
	80	0,07	0,99	0,22	1,28	
	100	0,23	0,04	0,56	0,83	
891	10	1,08	2,20	0,25	3,53	257,55
	20	0,49	1,91	0,52	2,92	
	40	1,09	1,62	0,30	3,01	
	60	0,63	1,39	0,30	2,32	
	80	0,68	0,99	0,29	1,96	
	100	0,36	0,90	0,24	1,50	
897	10	2,90	2,94	0,72	6,56	916,80
	20	2,68	10,94	1,10	14,72	
	40	1,34	9,05	1,20	11,59	
	60	2,07	3,71	2,38	8,16	
	80	2,72	3,86	0,48	7,06	
	100	2,82	2,94	0,38	6,14	
903	10	18,49	13,68	0,78	32,95	1863,95
	20	13,63	10,14	1,69	25,46	
	40	9,70	13,93	1,44	25,07	
	60	7,44	7,08	0,90	15,42	
	80	4,22	2,43	0,48	7,13	
	100	2,09	1,29	0,16	3,54	
909	10	0,35	1,70	0,30	2,35	266,65
	20	0,35	1,22	0,49	2,06	
	40	0,29	0,91	0,11	1,31	
	60	1,22	3,59	0,18	4,99	
	80	0,24	1,67	0,19	2,10	
	100	1,62	1,53	0,10	3,25	

Tabelle 5.2: Phytoplankton-Biomasse (PPC) während der POLARSTERN-Expedition ANT X/6

Station	Tiefe [m]	Diatomeen [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	Dinoflagellaten [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	andere [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	PPC [$\mu\text{g C}\cdot\text{l}^{-1}$]	PPC [$\text{mg C}\cdot\text{m}^{-2}$]
915	10	0,55	1,15	0,48	2,18	482,30
	20	0,68	5,44	0,36	6,48	
	40	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	
	60	4,35	2,41	0,38	7,14	
	80	0,62	2,39	0,14	3,15	
	100	0,10	0,76	0,18	1,04	
918	10	1,72	0,30	1,19	3,21	372,10
	20	5,25	1,04	2,10	8,39	
	40	2,39	0,74	1,02	4,15	
	60	1,48	0,20	0,83	2,51	
	80	1,67	0,29	0,45	2,41	
	100	1,06	0,30	0,31	1,67	
930	10	2,48	4,64	1,10	8,22	424,20
	20	1,26	2,79	0,25	4,30	
	40	1,28	2,61	0,69	4,58	
	60	2,63	0,90	0,50	4,03	
	80	1,53	0,85	1,11	3,49	
	100	1,49	1,16	1,23	3,88	
945	10	2,53	0,24	6,78	9,55	759,35
	20	2,61	0,11	2,44	5,16	
	40	2,63	0,22	5,34	8,19	
	60	3,76	0,14	3,93	7,83	
	80	3,21	0,06	3,16	6,43	
	100	3,77	0,12	5,08	8,97	
949	10	0,18	1,25	0,78	0,96	181,40
	20	0,31	1,05	1,37	1,68	
	40	0,51	0,63	2,00	2,51	
	60	0,65	1,40	0,91	1,56	
	80	1,29	1,30	0,87	2,16	
	100	0,96	0,68	0,76	1,72	
953	20	0,83	0,30	1,73	3,05	405,70
	40	1,31	0,14	2,01	4,14	
	60	1,01	0,00	2,01	3,62	
	80	1,38	0,00	2,56	6,15	
	100	1,24	0,05	1,99	3,60	
960	10	52,12	10,56	6,85	69,53	6153,35
	20	65,21	9,90	2,07	77,18	
	40	67,76	7,42	2,05	77,23	
	60	61,98	4,53	2,43	68,94	
	80	38,54	4,41	0,90	43,85	
	100	13,55	1,37	0,31	15,23	
969	10	31,14	7,86	8,47	47,47	8070,45
	20	69,25	12,20	5,93	87,38	
	40	72,72	9,84	3,21	85,77	
	60	53,21	9,67	0,47	63,35	
	80	106,18	18,10	1,60	125,88	
	100	43,99	10,40	0,38	54,77	

Tabelle 6.1: Mikrozooplankton-Abundanz während der POLARSTERN-Expedition ANT X/6

Station	Tiefe [m]	CILIATEN					Ciliaten gesamt [Ind*l ⁻¹]	heterotrophe Dinoflagellaten [Ind*l ⁻¹]	Foraminiferen [Ind*l ⁻¹]	Radiolarien [Ind*l ⁻¹]	Protozoen gesamt [Ind*l ⁻¹]
		Strombidium spp. [Ind*l ⁻¹]	Strobilidium spp. [Ind*l ⁻¹]	andere [Ind*l ⁻¹]	loricate [Ind*l ⁻¹]	heterotriche [Ind*l ⁻¹]					
870	20	1148	313	52	0	0	1513	626	0	0	2139
	40	1669	104	0	0	0	1773	469	0	0	2242
	60	131	104	0	0	0	235	469	0	0	704
	80	139	348	35	0	0	522	244	0	0	766
	100	26	209	0	0	0	235	104	0	0	339
877	20	3304	0	0	0	0	3304	3304	0	0	6608
	40	0	0	0	0	0	0	2869	0	0	2869
	60	0	0	0	0	0	0	1956	0	0	1956
	80	130	0	0	0	0	130	1043	0	0	1173
	100	0	130	0	0	0	130	522	0	0	652
886	10	1826	0	0	0	0	1826	52	0	0	1878
	20	4104	556	0	0	0	4660	487	0	0	5147
	40	3651	65	0	0	0	3716	587	0	0	4303
	60	556	0	139	0	0	695	139	0	0	834
	80	0	365	0	0	0	365	156	0	0	521
	100	292	194	0	0	0	486	0	0	0	486
886/2	20	2478	0	0	0	0	2478	326	0	0	2804
	40	1109	195	0	0	0	1304	0	0	0	1304
	60	4694	435	0	0	0	5129	348	0	0	5477
	80	105	156	0	0	0	261	0	0	0	261
	100	0	52	52	0	0	104	52	0	0	156
891	10	3477	209	0	0	0	3686	521	0	0	4207
	20	1217	145	0	0	0	1362	522	0	0	1884
	40	1391	116	0	0	0	1507	232	0	0	1739
	60	809	130	0	0	0	939	522	0	0	1461
	80	652	26	26	0	0	704	391	0	0	1095
	100	156	183	0	0	0	339	313	0	0	652
897	10	243	243	243	0	0	729	0	0	0	729
	20	875	1167	0	0	0	2042	0	0	0	2042
	40	389	972	0	0	0	1361	0	0	0	1361
	60	389	194	0	0	0	583	0	0	0	583
	80	0	292	0	0	0	292	146	0	0	438
	100	146	0	0	0	0	146	0	0	0	146
903	10	348	0	0	0	0	348	0	0	0	348
	20	521	261	0	0	0	782	0	0	0	782
	40	347	348	0	0	0	695	0	0	0	695
	60	3477	0	0	0	0	3477	3518	0	0	6995
	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	87	435	0	0	0	522	0	0	0	522
909	10	1892	847	65	0	0	2804	261	0	0	3065
	20	1641	547	0	0	0	2188	182	0	0	2370
	40	456	0	0	0	0	456	326	0	0	782
	60	1416	0	0	0	0	1416	75	0	0	1491
	80	456	0	0	0	0	456	0	0	0	456
	100	130	0	0	0	0	130	65	0	0	195
915	10	52	0	104	0	0	156	52	0	0	208
	20	1096	0	52	0	0	1148	52	0	0	1200
	40	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.
	60	174	261	0	0	0	435	435	0	0	870
	80	261	574	0	0	0	835	209	0	0	1044
	100	53	156	0	0	0	209	0	0	0	209
918	10	1460	2817	0	0	0	4277	0	0	0	4277
	20	3825	2608	0	0	0	6433	1043	0	0	7476
	40	1878	2816	0	0	0	4694	626	0	0	5320
	60	939	1356	0	0	0	2295	939	0	0	3234
	80	222	0	75	75	0	372	522	0	0	894
	100	0	52	104	0	0	156	260	0	0	416
930	10	365	1823	365	0	0	2553	365	0	0	2918
	20	0	729	0	0	0	729	2918	0	0	3647
	40	974	582	0	0	0	1556	787	0	0	2343
	60	0	0	194	0	0	194	1759	0	389	2342
	80	1094	729	0	122	0	1945	2674	0	0	4619
	100	971	122	122	0	0	1215	1458	0	0	2673

Tabelle 6.2: Mikrozooplankton-Abundanz während der POLARSTERN-Expedition ANT
X/6

Station	Tiefe (m)	CILIATEN					Ciliaten		heterotrophe		Protozoen	
		Strombidium spp. [Ind*1']	Strobilidium spp. [Ind*1']	andere [Ind*1']	loricate [Ind*1']	heterotriche [Ind*1']	gesamt [Ind*1']	Dinoflagellaten [Ind*1']	Foraminiferen [Ind*1']	Radiolarien [Ind*1']	gesamt [Ind*1']	
945	10	1216	522	0	174	0	1912	0	0	0	1912	
	20	956	174	0	87	0	1217	0	0	0	1217	
	40	913	587	0	0	65	1565	0	0	0	1565	
	60	1369	521	0	196	0	2086	0	0	0	2086	
	80	626	313	0	0	0	939	0	0	0	939	
	100	158	208	52	52	52	522	0	0	0	522	
949	10	2500	0	0	0	0	2500	3333	0	0	5833	
	20	833	278	0	0	0	1111	4861	0	0	5972	
	40	1783	162	0	0	0	1945	8454	0	0	10399	
	60	364	244	0	0	0	608	3891	0	0	4499	
	80	729	243	0	122	0	1094	6564	0	0	7658	
	100	729	608	0	122	0	1459	5105	0	0	6564	
953	20	1514	0	156	156	0	1828	626	0	0	2452	
	40	1618	156	52	104	104	2034	1043	0	0	3077	
	60	1826	313	104	0	0	2243	1095	0	0	3338	
	80	783	209	104	208	52	1356	2817	0	0	4173	
	100	628	730	156	364	52	1930	522	0	0	2452	
960	10	2917	0	0	1459	0	4376	18962	0	0	23338	
	20	2917	0	0	1459	0	4376	14586	0	0	18962	
	40	963	0	0	2927	0	3890	22365	0	0	26255	
	60	1946	972	0	1944	0	4862	22310	0	0	27172	
	80	1945	1945	0	0	0	3890	13613	0	0	17503	
	100	986	0	0	0	0	986	10562	329	0	11877	
969	10	729	0	729	2188	0	3646	19691	0	0	23337	
	20	729	0	0	1459	0	2188	22607	0	0	24795	
	40	0	0	1944	1945	0	3889	14584	0	972	19445	
	60	1945	0	0	972	0	2917	5834	0	0	8751	
	80	2917	0	0	4377	0	7294	18962	0	0	26256	
	100	1946	0	972	1458	0	4376	6321	0	0	10697	

Tabelle 7.1: Mikrozooplankton-Biomasse während der POLARSTERN-Expedition ANT X/6

Station	Tiefe [m]	CILIATEN						Protozoen		Radiolarien [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	Foraminiferen [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	Dinoflagellaten [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	heterotrophe Ciliaten [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	heterotrophe Ciliaten [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	andere Ciliaten [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	Strobilidium spp. [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	Strombidium spp. [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]
		gesamt [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	gesamt [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	gesamt [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	gesamt [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	gesamt [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	gesamt [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	gesamt [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]	gesamt [$\mu\text{g C}^{-1}\text{m}^{-3}$]								
870	20	2,73	0,18	0,03	0,00	0,00	2,94	0,26	0,00	0,00	0,00	3,20	179,12				
	40	2,09	0,06	0,00	0,00	0,00	2,15	0,11	0,00	0,00	0,00	2,26					
	60	0,75	0,03	0,00	0,00	0,00	0,78	0,17	0,00	0,00	0,00	0,95					
	80	0,53	0,10	0,08	0,00	0,00	0,71	0,08	0,00	0,00	0,00	0,79					
	100	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,07	0,24	0,00	0,00	0,00	0,31					
877	20	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	2,07	0,00	0,00	0,00	3,79	195,00				
	40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00					
	60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,16	0,00	0,00	0,00	2,16					
	80	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,65	0,00	0,00	0,00	0,70					
	100	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,08	0,33	0,00	0,00	0,00	0,41					
886	10	1,64	0,00	0,00	0,00	0,00	1,64	0,49	0,00	0,00	0,00	2,13	278,70				
	20	4,03	0,11	0,00	0,00	0,00	4,14	0,73	0,00	0,00	0,00	4,87					
	40	4,22	0,01	0,00	0,00	0,00	4,23	0,35	0,00	0,00	0,00	4,58					
	60	0,44	0,00	2,67	0,00	0,00	3,11	0,26	0,00	0,00	0,00	3,37					
	80	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,21	0,28	0,00	0,00	0,00	0,49					
	100	0,24	0,25	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49					
886/2	20	8,53	0,00	0,00	0,00	0,00	8,53	1,36	0,00	0,00	0,00	9,89	505,00				
	40	2,53	0,06	0,00	0,00	0,00	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	2,59					
	60	6,77	0,37	0,00	0,00	0,00	7,14	0,39	0,00	0,00	0,00	7,53					
	80	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15					
	100	0,00	0,01	0,24	0,00	0,00	0,25	0,04	0,00	0,00	0,00	0,29					
891	10	7,40	1,88	0,00	0,00	0,00	9,28	1,02	0,00	0,00	0,00	10,30	366,70				
	20	1,62	0,48	0,00	0,00	0,00	2,10	0,76	0,00	0,00	0,00	2,86					
	40	2,47	0,23	0,00	0,00	0,00	2,70	0,62	0,00	0,00	0,00	3,32					
	60	0,98	0,26	0,00	0,00	0,00	1,24	1,27	0,00	0,00	0,00	2,51					
	80	1,08	0,05	0,07	0,00	0,00	1,20	0,69	0,00	0,00	0,00	1,89					
	100	0,62	0,36	0,00	0,00	0,00	0,98	0,51	0,00	0,00	0,00	1,49					
897	10	0,93	0,22	0,22	0,00	0,00	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	142,90				
	20	3,45	0,54	0,00	0,00	0,00	3,99	0,00	0,00	0,00	0,00	3,99					
	40	0,49	0,42	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91					
	60	1,19	0,04	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23					
	80	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,03	0,00	0,00	0,00	0,36					
	100	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25					
903	10	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	226,33				
	20	0,48	0,15	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63					
	40	1,17	0,10	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27					
	60	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	3,40	5,01	0,00	0,00	0,00	8,41					
	80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
	100	0,04	0,70	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74					
909	10	7,61	0,30	0,22	0,00	0,00	8,13	0,07	0,00	0,00	0,00	8,20	425,50				
	20	7,53	0,49	0,00	0,00	0,00	8,02	0,14	0,00	0,00	0,00	8,16					
	40	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	0,57	0,00	0,00	0,00	2,68					
	60	4,68	0,00	0,00	0,00	0,00	4,68	0,63	0,00	0,00	0,00	5,31					
	80	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58					
	100	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	0,22	0,00	0,00	0,00	1,05					
915	10	0,14	0,00	0,85	0,00	0,00	0,99	0,21	0,00	0,00	0,00	1,20	180,25				
	20	3,56	0,00	0,05	0,00	0,00	3,61	0,16	0,00	0,00	0,00	3,77					
	40	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.					
	60	0,33	0,13	0,00	0,00	0,00	0,46	0,57	0,00	0,00	0,00	1,03					
	80	0,74	0,61	0,00	0,00	0,00	1,35	0,47	0,00	0,00	0,00	1,82					
	100	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07					
918	10	0,45	0,87	0,00	0,00	0,00	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00	1,32	204,23				
	20	3,88	6,26	0,00	0,00	0,00	10,14	0,29	0,00	0,00	0,00	10,43					
	40	1,67	1,41	0,00	0,00	0,00	3,08	0,17	0,00	0,00	0,00	3,25					
	60	0,50	2,20	0,00	0,00	0,00	2,70	2,09	0,00	0,00	0,00	4,79					
	80	0,53	0,00	0,47	1,54	0,00	2,54	0,25	0,00	0,00	0,00	2,79					
	100	0,00	0,02	0,65	0,00	0,00	0,67	0,13	0,00	0,00	0,00	0,80					
930	10	0,14	0,48	0,65	0,00	0,00	1,27	0,46	0,00	0,00	0,00	1,73	106,05				
	20	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,35	0,94	0,00	0,00	0,00	1,29					
	40	1,10	0,28	0,00	0,00	0,00	1,38	0,40	0,00	0,00	0,00	1,78					
	60	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,46	0,00	0,23	0,00	0,73					
	80	0,94	0,16	0,00	0,02	0,00	1,11	1,46	0,00	0,00	0,00	2,57					
	100	1,35	0,02	0,79	0,00	0,00	2,16	0,18	0,00	0,00	0,00	2,34					
945	10	1,54	0,31	0,00	0,29	0,00	2,14	0,00	0,00	0,00	0,00	2,14	179,55				
	20	1,63	0,05	0,00	0,21	0,00	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	1,89					
	40	1,13	0,34	0,00	0,00	0,04	1,51	0,00	0,00	0,00	0,00	1,51					
	60	3,08	0,15	0,00	0,07	0,00	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30					
	80	0,53	0,16	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69					
	100	0,23	0,08	0,54	0,03	0,03	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91					

Tabelle 7.2: Mikrozooplankton-Biomasse während der POLARSTERN-Expedition ANT X/6

Station	Tiefe (m)	CILIATEN					Ciliaten		Foraminiferen [µg C·l ⁻¹]	Radiolarien [µg C·l ⁻¹]	Protozoen	
		Strombidium spp. [µg C·l ⁻¹]	Strobilidium spp. [µg C·l ⁻¹]	andere [µg C·l ⁻¹]	loricate [µg C·l ⁻¹]	heterotriche [µg C·l ⁻¹]	gesamt [µg C·l ⁻¹]	heterotrophe [µg C·l ⁻¹]			gesamt [µg C·l ⁻¹]	gesamt [mg C·m ⁻²]
949	10	2,19	0,00	0,00	0,00	0,00	2,19	1,17	0,00	0,00	3,36	193,35
	20	0,95	0,07	0,00	0,00	0,00	1,02	0,89	0,00	0,00	1,91	
	40	1,12	0,03	0,00	0,00	0,00	1,15	1,47	0,00	0,00	2,62	
	60	0,19	0,09	0,00	0,00	0,00	0,28	0,72	0,00	0,00	1,00	
	80	0,16	0,03	0,00	0,11	0,00	0,30	1,07	0,00	0,00	1,37	
	100	0,10	0,14	0,00	0,08	0,00	0,32	1,13	0,00	0,00	1,45	
953	20	1,09	0,00	0,73	0,11	0,00	1,93	0,49	0,00	0,00	2,42	289,50
	40	1,69	0,04	0,35	0,24	0,06	2,38	0,82	0,00	0,00	3,20	
	60	0,94	0,18	0,49	0,00	0,00	1,61	0,60	0,00	0,00	2,21	
	80	0,96	0,06	1,08	0,25	0,03	2,38	2,21	0,00	0,00	4,59	
	100	0,67	0,22	0,73	2,08	0,04	3,74	0,37	0,00	0,00	4,11	
960	10	0,13	0,00	0,00	0,78	0,00	0,91	2,70	0,00	0,00	3,61	548,90
	20	0,99	0,00	0,00	0,78	0,00	1,77	4,66	0,00	0,00	6,43	
	40	0,10	0,00	0,00	2,15	0,00	2,25	3,20	0,00	0,00	5,45	
	60	0,91	0,12	0,00	1,09	0,00	2,12	5,75	0,00	0,00	7,87	
	80	0,90	0,48	0,00	0,00	0,00	1,38	1,98	0,00	0,00	3,36	
	100	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	3,40	2,78	0,00	6,47	
969	10	0,17	0,00	3,42	12,75	0,00	16,34	2,44	0,00	0,00	18,78	1341,55
	20	0,15	0,00	0,00	8,50	0,00	8,65	5,30	0,00	0,00	13,95	
	40	0,00	0,00	2,50	7,22	0,00	9,72	3,61	0,00	2,34	15,67	
	60	0,40	0,00	0,00	3,17	0,00	3,57	2,22	0,00	0,00	5,79	
	80	0,67	0,00	0,00	11,26	0,00	11,93	4,73	0,00	0,00	16,66	
	100	0,18	0,00	1,11	5,17	0,00	6,46	2,36	0,00	0,00	8,82	

Tabelle 8.1: Die für die Berechnung des Biovolumens und der Biomasse angenommenen geometrischen Formen und die durchschnittliche Zellgröße einzelner Mikrozooplankton-Taxa während der POLARSTERN-Expedition ANT X/6

	geometrische Form	Länge [µm]	Standartabw. [µm]	Durchmesser 1 [µm]	Standartabw. [µm]	Durchmesser 2 [µm]	Standartabw. [µm]
CILIATEN							
Strombidium sp.	Konus	42,71	27,90	27,00	17,24		
Strombidium vestitum	Konus	33,09	5,61	19,03	3,35		
Strombidium conicum	Konus	62,77	21,74	30,69	11,62		
Strombidium crassulum	Konus	57,00	18,58	46,00	10,58		
Strombidium stylifer	Konus	42,67	15,14	23,00	6,08		
Strombidium diversum	Konus	32,00		24,00			
Strombidium elegans	Konus	60,00	18,33	34,00	5,29		
Strombidium cornucopiae	Konus	100,00		20,00			
Strombidium elongatum	Konus	100,00		40,00			
Strombidium constictum	Konus	31,50	4,95	23,00	4,24		
Strombidium compressum	Konus	52,00		40,00			
Strombidium oculatum	Konus	52,00		32,00			
Strombidium tintinnodes	Konus	28,00		19,00			
Strombidium cornutum	Konus	60,00		24,00			
Strobilidium spec.	Kugel			22,09	10,60		
Strobilidium conicum	Konus	29,44	5,64	18,22	2,99		
Strobilidium elegans	Kugel			17,86	3,80		
Strobilidium pelagicum	Konus	26,40	5,68	18,20	2,77		
Strobilidium typicum	Konus	28,00		20,00			
Halteria spec.	Kugel			19,00			
Lohmaniella oviformis	Kugel			38,33	12,39		
Metastrombidium sonnifer	Kugel			33,33	8,33		
Tontonia spec.	Kugel			32,67	17,24		

Tabelle 8.2: Die für die Berechnung des Biovolumens und der Biomasse angenommenen geometrischen Formen und die durchschnittliche Zellgröße einzelner Mikrozooplankton-Taxa während der POLARSTERN-Expedition ANT X/6

	geometrische Form	Länge [µm]	Standartabw. [µm]	Durchmesser [µm]	Standartabw. [µm]	Durchmesser 2 [µm]	Standartabw. [µm]
CILIATEN							
Laboea strobila	Konus	140,00		56,00			
heterotriche Ciliaten	Rotations-Ellipsoid	27,60	2,19	20,00	0,00		
Salpingella spec.	Zylinder	96,00	81,73	13,60	8,05		
Ascampbelliella lata	Kugel			33,67	11,93		
Eutintinnus spec.	Zylinder	70,14	35,02	11,57	2,14		
Favella ehrenbergii	Kegelstumpf	56,00	5,66	28,00	0,00	12,00	0,00
Propectella parva	Konus	40,00		20,00			
Propectella cf. tenuis	Konus	40,00		28,00			
Propectella cf. subula	Konus	68,00		68,00			
Acanthostomella norvegica	Konus	45,00	2,65	38,33	4,04		
Coxiella cf. helix	Konus	60,00		20,00			
Helicostomella spec.	Konus	48,00		28,00			
RADIOLARIEN							
Radiolarien	Kugel			26,00	8,49		
FORAMINIFEREN							
Foraminiferen	Rotations-Ellipsoid	110,00		55,00			
DINOFLAGELLATEN							
Cochlidinium spec.	Rotations-Ellipsoid	59,50	13,14	30,44	3,98		
Achradina angusta	Rotations-Ellipsoid	34,88	17,92	8,88	3,31		
Amphidinium longum	Rotations-Ellipsoid	32,00		14,00			
Podolampas spec.	Rotations-Ellipsoid	37,35	16,90	10,99	3,77		
unidentifizierte heterotr. Dinoflagellaten	Rotations-Ellipsoid	21,04	13,08	12,54	4,74		

Danksagung

Prof. Dr. Bodo v. Bodungen danke ich für sein persönliches Engagement, für seine Betreuung und für die vielen Anregungen und Hinweise bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Olaf Haupt, Frank Blaume und Will Ritzrau haben mir durch ihre Hard- und Software Kenntnisse viel helfen können. Avan Antia hat es durch viele hilfreiche Diskussionen geschafft, mir die unergründlichen Tiefen der Serial-Dilution-Methode näher zu bringen. Olaf und Avan haben es stets verstanden für ein angenehmes Arbeitsklima in unserem Zimmer zu sorgen. Viele wichtige Begleitdaten sind durch die Routineauswertungen von Marita Wunsch überhaupt erst verfügbar geworden. Ihnen allen gilt mein Dank.

Während der Polarstern-Ausfahrt sind Unmengen von Daten und Proben von Kollegen erhoben und bearbeitet worden, die mir für meine eigene Arbeit großzügigerweise zur Verfügung gestellt wurden. Dafür möchte ich mich bei Uli Bathmann, Corinna Dubischar, Cornelis Veth, Karel Bakker, Peter Fritsche, Frank Jochem, Silvie Mathot, Bernard Queguiner, Jacques Poncin, Michel Stoll und Sven Ober recht herzlich bedanken. In diesem Zusammenhang möchte ich mich besonders bei Andrea Detmer bedanken. Sie hat für mich alle Messungen am Zytometer durchgeführt und zusammen mit Jürgen de Wall, Bärbel Bolt und Anke Weber für ein angenehmes Arbeitsklima gesorgt.

All den ungenannten "Guten Geistern" auf den SFB Fluren danke ich für die vielen, unzähligen Gespräche, Anregungen und Aufmunterungen während meiner Arbeit.

Die kompetente Unterstützung der Kapitäne und der Besatzungen der Forschungsschiffe "METEOR" und "POLARSTERN" bei der Probennahme und Datenerhebung, hat viel zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ihnen allen bin ich zu Dank verpflichtet.

Martina hat es immer verstanden mir aufmunternd zur Seite zu stehen. Sie hat mir mit viel Aufmerksamkeit und Unterstützung v.a. in der Endphase der Arbeit, durch alle schöpferischen Tiefs hindurchgeholfen. Ich möchte ihr dafür herzlichst danken.

Mein größter Dank gilt allerdings meinen Eltern. Nur durch ihre uneingeschränkte und großzügige Unterstützung war ich in der Lage mein Studium durchzuführen.

Der Sonderforschungsbereich 313 und das Institut für Meereskunde gewährten mir strukturelle Unterstützung während dieser Arbeit. Die Untersuchung wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Zuge der Finanzierung des Sonderforschungsbereiches 313 ermöglicht.